



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**ESTIMASI STATE OF CHARGE (SOC) PADA BATERAI
LEAD-ACID DENGAN MENGGUNAKAN METODE
COULOMB COUNTING PADA PV HYBRID**

Zainul Rahmawan
NRP 07111440000055

Dosen Pembimbing
Ir. Sjamsjul Anam, MT.
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

**STATE OF CHARGE (SOC) ESTIMATION OF LEAD-
ACID BATTERIES USING COULOMB COUNTING
METHOD FOR PV HYBRID APLICATION**

Zainul Rahmawan
NRP 07111440000055

Supervisors
Ir. Sjamsjul Anam, MT.
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

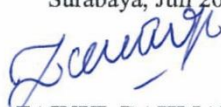
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul **“ESTIMASI STATE OF CHARGE (SOC) PADA BATERAI LEAD-ACID DENGAN MENGGUNAKAN METODE COULOMB COUNTING PADA PV HYBRID”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak di izinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018



ZAINUL RAHMAWAN
NRP. 0711144000055

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ESTIMASI STATE OF CHARGE (SOC) PADA
BATERAI LEAD-ACID DENGAN MENGGUNAKAN
METODE COULOMB COUNTING PADA PV
HYBRID**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Sjamsul Anam, MT.
NIP : 196307251990031002

Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.
NIP : 198006032006041003



**SURABAYA
JULI 2018**

Halaman ini sengaja dikosongkan

ESTIMASI STATE OF CHARGE (SOC) PADA BATERAI LEAD ACID DENGAN MENGGUNAKAN METODE COULOMB COUNTING PADA PV HYBRID

Nama mahasiswa : Zainul Rahmawan
Dosen Pembimbing I : Ir. Sjamsjul Anam, MT.
Dosen Pembimbing II : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

ABSTRAK

Baterai merupakan komponen yang penting dalam implementasi *renewable energy*. Salah satu jenis baterai yang sering digunakan dalam implementasi *renewable energy* adalah baterai *Lead-Acid*. Estimasi nilai SOC (*state of charge*) yang akurat menjadi salah satu parameter yang penting dalam perancangan BMS (*Battery Management System*). Estimasi nilai SOC yang akurat sangat diperlukan untuk menghindari baterai beroperasi dalam keadaan *over charge* dan *over discharge*. Salah satu metode estimasi SOC yang cukup mudah dan sering digunakan adalah *Coulomb Counting*. Penentuan estimasi SOC dengan metode ini dilakukan dengan menjumlahkan muatan yang masuk atau muatan yang keluar dari baterai dalam kurun waktu tertentu. Penjumlahan muatan dapat dilakukan dengan melakukan penjumlahan perkalian arus dan waktu pada baterai, baik pada saat pengisian dan pengosongan. Pada tugas akhir ini dirancang sebuah alat *monitoring SOC* dengan menggunakan metode *coulomb counting* untuk melakukan *monitoring* nilai SOC baterai baik pada saat pengisian dan pengosongan. Pada implementasinya metode ini sangat bergantung pada nilai *initial SOC* yang akurat serta keakuratan sensor arus yang digunakan. Jenis sensor arus yang digunakan dalam alat *monitoring SOC* ini adalah ACS712 yang memiliki keakuratan yang baik. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, jumlah muatan pada baterai berbanding lurus dengan SOC pada baterai itu sendiri.

Kata kunci : (*State of charge, coulomb counting, Lead-acid, Initial SOC*)

Halaman ini sengaja dikosongkan

STATE OF CHARGE ESTIMATION OF LEAD-ACID BATTERIES USING COULOMB COUNTING METHOD FOR PV HYBRID APLICATION

Student Name : Zainul Rahmawan
Supervisor I : Ir. Sjamsjul Anam, MT.
Supervisor II : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

ABSTRACT

Battery is an important component in the implementation of renewable energy. One type of battery that is common used in the implementation of renewable energy is the Lead-Acid battery. Accurate estimation of SOC (state of charge) values becomes one of the important parameters in the design of BMS (Battery Management System). Establishing accurate SOC value estimates is necessary to avoid batteries operating in over charge and over discharges. One method of SOC estimation is easy and common used is "coulomb counting". Determination of SOC estimation with this method by summing the coulomb that in or come out of the battery with a certain period of time. The sum of the coulomb can be calculate by adding the current to the battery, either during charging and discharging. In this final project will designed a SOC monitoring tool using coulomb counting method to monitor the value of SOC battery both at charging and discharging with a certain period of time. In the implementation of this method is very dependent on the accurate initial SOC value and accuracy of current sensors used. The type of current sensor used in this SOC monitoring tool is ACS712 which has good accuracy. Based on the results of the tests performed, the amount of coulomb on the battery is proportional to the SOC battery value.

Keywords : (State of charge, coulomb counting, Lead-acid, Initial SOC)

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“ESTIMASI STATE OF CHARGE (SOC) PADA BATERAI LEAD-ACID DENGAN MENGGUNAKAN METODE COULOMB COUNTING PADA PV HYBRID”**. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas limpahan Rahmat, Karunia dan Petunjuk yang diberikan kepada penulis.
2. Ibu dan Bapak penulis atas doa dan cinta kasih yang tak henti pada penulis dalam keadaan apa pun. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan memberi mereka tempat terbaik kelak di surga-Nya.
3. Bapak Ir. Sjamsjul Anam, MT dan Bapak Heri Suryoatmojo, ST.,MT.,Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang luar biasa.
5. Kakak saya Zainudin Firmansyah dan Arliya Nur Lita Sari yang telah memberikan dukungan moril dan materi guna menunjang proses penyelesaian tugas akhir ini.
6. Teman-teman seperjuangan e-54 yang telah menemani dan memberikan dukungan selama masa kuliah sampai penyusunan tugas akhir ini
7. Teman-teman laboratorium konversi energi listrik B-101 ITS yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
8. Teman-teman perumahan bumi marina emas F-119 (Akbar Nadhif, Angga Putra P, Syamsul Bahri, Darari Nur Amali, Arif Fachrudin, Ahmad Bilal, Dhimas Abdi P, Shofi Al-Ghozi R, Rama Kurniawan, Firsta Agung, Abyan Faris Putranto)

yang senantiasa menemani dalam suka dan duka selama proses pengerjaan tugas akhir ini.

9. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis telah berusaha maksimal dalam penyusunan tugas akhir ini, namun tetap besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat yang luas.

Amiin

Surabaya, Juni 2018

Zainul Rahmawan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Metodologi	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
1.7. Relevansi	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	7
2.1. Pemodelan Sistem Panel Surya	7
2.1.1. Stand Alone Photovoltaic System	7
2.1.2. Hybrid Photovoltaic System	8
2.2. Baterai	8
2.3. Jenis-Jenis Baterai	9
2.3.1. Baterai Primer	9
2.3.2. Baterai Sekunder	10
2.4. Parameter Baterai	10
2.4.1. Kapasitas Baterai (<i>Batery Capacity</i>)	10
2.4.2. Tegangan Baterai	10
2.4.3. State of Charge (SOC)	10
2.4.4. Depth of Discharge (DOD)	10
2.4.5. Siklus Hidup Baterai (<i>Battery life cycle</i>)	11
2.4.6. Self Discharge	12
2.4.7. Tingkat Pengisian dan Pengosongan (C-rating)	12
2.4.8. Suhu	14
2.5. Baterai Lead-acid	14
2.5.1. Jenis Baterai Lead-Acid	14
2.5.2. Reaksi pada baterai Lead-Acid	16
2.6. Perhitungan Nilai State of Charge (SOC) baterai	17
2.6.1. Metode <i>Coulomb counting</i>	17
2.6.2. Metode <i>open circuit voltage</i> (OCV)	18
2.6.3. Adaptive-modified coulomb counting SOC estimation ..	21
2.7. Pemodelan Baterai	22

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1. Gambaran umum.....	25
3.2. Prosedur pengujian.....	28
3.2.1. Prosedur pengosongan baterai	28
3.2.2. Prosedur pengisian baterai	29
3.3. Perancangan Sistem	30
3.3.1. Proses pengosongan baterai	30
3.3.2. Proses pengisian baterai	31
3.4. Perangkat keras pada system.....	32
3.4.1. Baterai Lead Acid	32
3.4.2. Sensor arus (ACS712).....	32
3.4.3. Sensor Tegangan.....	32
3.4.4. Mikrokontroler.....	33
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1. Hasil Simulasi	35
4.2.1. Pemodelan Baterai	35
4.2.2. Perhitungan SOC baterai dengan metode CC.	40
4.2. Pengujian Sensor Arus	41
4.3. Pengujian sensor tegangan	42
4.4. Pengambilan data pada proses pengosongan	44
4.5. Pengambilan data SOC pada proses pengisian	49
BAB 5 PENUTUP	57
5.1. Kesimpulan	57
5.2. Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA.....	59
LAMPIRAN	61
BIODATA PENULIS	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Stand alone photovoltaic system</i> [2]	7
Gambar 2.2	<i>Hybrid photovoltaic system</i> [2].....	8
Gambar 2.3	Bagian pada baterai [3].....	9
Gambar 2.4	Pengaruh nilai DOC terhadap cycles	11
Gambar 2.5	Kurva tegangan dan SOC baterai <i>lead-acid</i> 12 V[5]	13
Gambar 2.6	kurva karakteristik kapasitas baterai <i>lead-acid</i>	14
Gambar 2.7	<i>Charging dan discharging Lead-acid battery</i> [6]	17
Gambar 2.8	<i>Current time and Voltage versus time</i> [9].....	19
Gambar 2.9	<i>Adaptive-modified coulomb counting SOC</i> [11]	21
Gambar 2.10	<i>Non linear battery model</i> [12]	22
Gambar 3.1	<i>Flowchart Metodologi Tugas Akhir</i>	25
Gambar 3.2	Prosedur pengosongan baterai	28
Gambar 3.3	Prosedur pengisian baterai	29
Gambar 3.4	Perancangan alat pada proses pengosongan baterai.....	30
Gambar 3.5	Perancangan alat pada proses pengisian baterai	31
Gambar 3.6	Konfigurasi pin ACS 712	32
Gambar 3.7	Rangkaian pembagi tegangan	33
Gambar 3.8	Mikrokontroler Arduino	33
Gambar 4.1	<i>Non linear battery model</i> [12].....	35
Gambar 4.2	Pemodelan baterai pada <i>simulink matlab</i>	36
Gambar 4.3	Kurva <i>discharge</i> karakteristik baterai	38
Gambar 4.4	Kurva <i>discharge</i> karakteristik (simulasi)	39
Gambar 4.5	<i>Discharge current</i>	39
Gambar 4.6	Simulasi perhitungan SOC dengan metode	40
Gambar 4.7	Grafik simulasi proses pengisian dan pengosongan.....	40
Gambar 4.8	Grafik pengujian sensor arus ACS712.....	41
Gambar 4.9	Grafik pengujian sensor tegangan.....	43
Gambar 4.10	Rangkaian pengujian pada proses pengosongan	44
Gambar 4.11	Alat <i>monitoring</i> SOC (pengosongan)	45
Gambar 4.12	Grafik <i>discharge</i> karakteristik (pengujian	45
Gambar 4.13	Grafik hubungan SOC terhadap waktu (pengosongan) .	46
Gambar 4.14	Grafik hubungan nilai tegangan baterai dan SOC.....	47
Gambar 4.15	Grafik hubungan jumlah muatan dan SOC	48
Gambar 4.16	<i>Discharge current</i>	49
Gambar 4.17	Rangkaian pengujian pada proses pengisian	49
Gambar 4.18	Alat <i>monitoring</i> SOC pada proses pengisian	50
Gambar 4.19	Grafik Tegangan terhadap waktu (pengisian).....	51

Gambar 4.20 Grafik nilai SOC baterai terhadap waktu (pengisian).....52

Gambar 4.21 Grafik hubungan Tegangan dan SOC (pengisian).....52

Gambar 4.22 Perbandingan grafik tegangan dan SOC53

Gambar 4.23 Grafik hubungan jumlah muatan dengan SOC baterai ...54

Gambar 4.24 *Charge Current*54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik baterai <i>lead-acid</i> [3].....	16
Tabel 2.2 Sejarah perkembangan metode estimasi SOC [7]	20
Tabel 4.1 Tabel hasil pengujian sensor arus ACS712.....	42
Tabel 4.2 Tabel hasil pengujian sensor tegangan	43

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini kebutuhan akan energi listrik menjadi faktor yang tidak bisa lepas dalam kehidupan manusia. Seiring dengan laju pertumbuhan penduduk, hal ini juga dibarengi dengan peningkatan kebutuhan energi listrik di Indonesia. meningkatnya kebutuhan energi listrik di Indonesia membuat keberlangsungan akan pasokan energi listrik semakin tinggi, sehingga membuat beban kerja dari sisi pembangkit akan semakin berat, serta ketersediaan bahan bakar fosil yang digunakan akan semakin menipis. Dengan kondisi yang ada, penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT) sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan akan energi listrik yang ada di Indonesia, mengingat potensi energi baru terbarukan di Indonesia cukup besar. Berdasarkan kebijakan energi nasional pemenuhan akan kebutuhan energi nasional dari sektor energi baru terbarukan (EBT) di targetkan sebesar 17% pada tahun 2025 [1].

Salah satu jenis *renewable energy* yang sudah banyak di implementasikan adalah *photovoltaic*. Hal ini dikarenakan *photovoltaic* merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dan cukup mudah untuk diimplementasikan. Pada prinsipnya, dengan mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik, *photovoltaic* merupakan sumber energi terbarukan yang rendah emisi. Salah satu implementasi *photovoltaic* di indonesia yaitu *photovoltaic* yang diterapkan pada penerangan jalan umum (PJU) dengan menggunakan sistem ”*stand alone photovoltaic*”, dimana daya yang digunakan pada lampu hanya bersumber dari *photovoltaic*. Namun Implementasi ini tidak berlangsung lama dikarenakan banyaknya kerusakan yang terjadi pada baterai. Sampai saat ini, Baterai menjadi komponen yang penting dalam implementasi *renewable energy*. Baterai merupakan jenis teknologi penyimpanan yang sering digunakan, namun baterai memiliki beberapa kekurangan. Seperti kapasitas daya yang ditampung, keterbatasan daya yang bisa disalurkan, hingga *lifetime* baterai yang pendek. Tentunya hal ini bergantung dari jenis dan karakteristik pada setiap baterai. Baterai yang umum digunakan dalam penerapan *renewable energy* adalah baterai *lead-acid*. Untuk menjaga performa baterai *lead-acid* diperlukan sistem monitoring baterai untuk menentukan estimasi perhitungan nilai SOC (*State of charge*) yang akurat.

State of charge adalah perbandingan energi yang tersisa dengan kapasitas energi maksimum pada baterai. Nilai SOC memiliki rentang nilai 0-1, dengan 0 menyatakan baterai dalam keadaan kosong, sedangkan 1 merupakan kondisi baterai dengan keadaan penuh. Nilai *State of charge* juga bisa dinyatakan dalam bentuk persentase, 0%-100%. Estimasi *State of charge* adalah salah satu hal yang penting dalam penerapan baterai. Estimasi nilai *state of charge* yang akurat sangat diperlukan untuk menghindari dari kerusakan sistem, mencegah baterai dari keadaan *over charge* dan *over discharge* yang dapat menyebabkan kerusakan permanen pada baterai.

Dari beberapa ulasan tersebut, maka diperlukan sebuah sistem *monitoring* baterai (*Battery Monitoring System*) untuk melakukan estimasi nilai SOC yang akurat pada sebuah baterai. Pemilihan metode yang tepat juga dibutuhkan untuk mendukung perhitungan nilai SOC yang akurat. Dengan perhitungan nilai SOC yang tepat diharapkan dapat menjadi acuan dalam mengoperasikan baterai, sehingga baterai dapat dioperasikan dalam keadaan aman (*safe operating area*) serta bisa mendukung kinerja sistem yang ada.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana cara menghitung nilai SOC pada baterai *lead-acid* dengan menggunakan metode *coulomb counting* ?
2. Bagaimana hubungan antara jumlah muatan dengan nilai SOC pada baterai *lead-acid* ?
3. Bagaimana cara membuat sistem *monitoring* baterai *lead-acid* ?

1.3. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Menentukan estimasi nilai SOC pada baterai *lead-acid* dengan menggunakan metode *coulomb counting*.
2. Melakukan analisa hubungan jumlah muatan (*coulomb*) dengan nilai SOC pada baterai *lead-acid*.
3. Merancang sistem *monitoring* baterai *lead-acid*.

1.4. Batasan Masalah

Berikut ini merupakan batasan masalah dalam tugas akhir ini:

1. Menggunakan Baterai Lead-acid, dengan spesifikasi Panasonic LC-V127R2 dengan tegangan 12 V, 7,2 Ah.

2. Menggunakan beban resistif dalam proses *discharging*
3. Menggunakan Metode *Coulomb Counting* untuk menentukan nilai SOC pada Batetrai Lead-Acid.
4. Tidak mempertimbangkan pengaruh Temperatur dalam penentuan nilai SOC

1.5. Metodologi

Secara umum terdapat 3 proses dalam pembuatan sistem *monitoring* baterai, yaitu : proses pengisian, proses pengosongan dan proses akuisisi data nilai arus dan tegangan untuk menentukan nilai SOC baterai. Pada Tugas Akhir ini dilakukan tahapan pengerjaan sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan proses studi tentang referensi-referensi yang berkaitan dengan topik yang di angkat. Seperti karakteristik baterai *Lead-acid*, Metode perhitungan SOC, Pemodelan sistem *monitoring* baterai dan lain sebagainya.

2. Perancangan Sistem

Perancangan sistem dirancang berdasarkan beberapa literatur yang ada, seperti jurnal dan buku. Perancangan ini dilakukan agar dapat melakukan proses perhitungan nilai SOC (*State of charge*) pada baterai, baik ketika proses pengisian (*Charge*) atau pengosongan (*discharge*). Perancangan sistem ini dilakukan dengan menggunakan metode perhitungan coulomb (*Coulomb Counting*).

3. Pemodelan sistem dengan menggunakan *software Matlab*

Memodelkan sistem *monitoring* perhitungan nilai SOC dengan menggunakan *software Matlab*, pemodelan ini dibuat baik saat pengisian (*charging*) atau pengosongan (*discharging*). pemodelan ini juga berdasarkan dengan metode yang digunakan, yaitu metode *coulomb counting*. Pemodelan ini bertujuan untuk dapat melakukan perhitungan nilai SOC pada baterai.

4. Simulasi

Simulasi yang digunakan bertujuan untuk menentukan nilai SOC pada baterai serta melakukan uji coba pada sistem yang sudah dibuat.

5. Pembuatan *Prototype* sistem monitoring SOC

Pembuatan *prototype monitoring* SOC ini berdasarkan pada metode *coulomb counting*, dimana nilai SOC baterai dapat dihitung dengan menghitung jumlah muatan yang masuk atau keluar dari baterai. Dalam *prototype* ini terdapat sensor arus untuk mendeteksi nilai arus yang masuk atau keluar dari baterai, dan sensor tegangan untuk mendeteksi nilai tegangan pada baterai, Serta mikrokontroller Arduino untuk melakukan proses perhitungan nilai SOC.

6. Pengujian *Prototype*

Pengujian dilakukan dengan mengambil data Arus dan tegangan pada baterai untuk dijadikan bahan perhitungan nilai SOC (*state of charge*) dengan menggunakan metode *coulomb counting*. Dalam proses pengujian, beban yang digunakan berupa beban resistif.

7. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pada proses pengisian dan proses pengosongan pada baterai. Jenis data yang diambil berupa tegangan baterai, arus yang mengalir pada baterai, Serta nilai SOC pada baterai.

8. Analisis Data

Setelah proses pengambilan data selesai, maka akan dilakukan analisa pada data yang sudah diperoleh. Pada proses ini akan dilakukan analisa tentang hubungan nilai tegangan terhadap nilai SOC (*State of charge*) pada baterai, selain itu juga akan dilakukan analisa tentang hubungan jumlah coulomb pada baterai dengan nilai SOC (*State of charge*) pada baterai.

9. Penarikan Kesimpulan

Setelah melihat beberapa kondisi yang ada, maka ditarik beberapa kesimpulan. Kesimpulan ini juga di akhiri dengan pemberian saran dan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini meliputi latar belakang permasalahan yang diangkat, tujuan, batasan masalah, penjelasan mengenai metodologi yang digunakan, sistematika penulisan dan manfaat dari Tugas akhir.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan tentang teori dasar yang mendukung topik yang diangkat pada tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN DAN PERANCANGAN SISTEM

Bab ini menjelaskan tentang metodologi penelitian serta proses perancangan sistem

BAB IV PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi tentang pembahasan dari sistem yang telah dibuat, serta proses analisa data berdasarkan data yang sudah diperoleh pada proses uji coba sistem yang telah dibuat.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan penelitian yang telah dilakukan dan pemberian saran untuk penelitian selanjutnya.

1.7. Relevansi

Dalam Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat tentang salah satu metode estimasi perhitungan nilai *State Of Charge* pada baterai *lead-acid*, yaitu dengan menggunakan metode perhitungan jumlah muatan (*coulomb counting*). Pada implementasinya, diharapkan perhitungan nilai *State of charge* pada baterai *lead-acid* dapat dilakukan dengan akurat, sehingga baterai dapat dioperasikan dalam keadaan aman (*safe operating area*) pada penerapan *PV hybrid*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

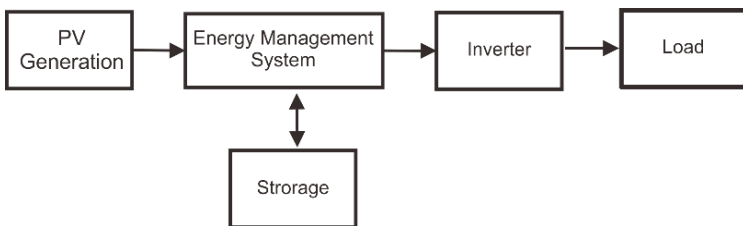
BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Pemodelan Sistem Panel Surya

Kebutuhan akan energi listrik sampai saat ini terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk. Tidak dapat dipungkiri sampai saat ini masih terdapat beberapa daerah yang belum terpenuhi akan kebutuhan energi listrik. Hal ini bisa diakibatkan karena beberapa faktor, salah satunya yaitu faktor geografis. Seperti daerah kepulauan, pegunungan dan lain sebagainya. Pemenuhan kebutuhan energi listrik Pada daerah yang terisolasi biasanya menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel. Namun jenis pembangkit ini memiliki kekurangan, seperti biaya *maintanance* yang cukup tinggi, dan menghasilkan polutan yang bisa mencemari lingkungan. Dari kondisi ini, *renewable energy* menjadi salah satu alternatif untuk pemenuhan energi listrik yang ramah lingkungan. Dari beberapa jenis *renewable energy*, pembangkit listrik berbasis *photovoltaic* merupakan jenis *renewable energy* yang sering diterapkan karena ramah lingkungan dan cukup mudah dalam penerapannya. Terdapat dua jenis sistem *photovoltaic*, yaitu : *Stand Alone Photovoltaic system* dan *hybrid photovoltaic system*. Berikut ini merupakan penjelasan dari *Stand Alone Photovoltaic system* dan *hybrid photovoltaic system* [2] :

2.1.1. Stand Alone Photovoltaic System

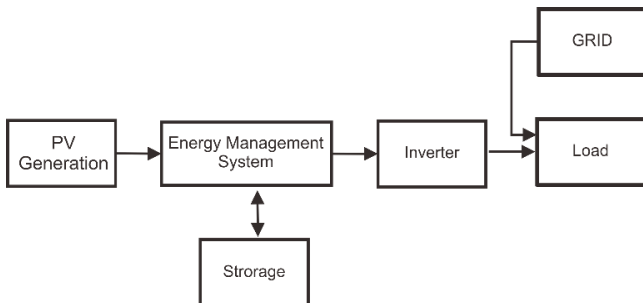


Gambar 2.1 *Stand alone photovoltaic system* [2]

Pada sistem *stand alone photovoltaic*, sumber energi utama berasal dari energi yang dihasilkan PV yang kemudian tersimpan pada *storage*. Ketika terdapat kebutuhan beban, maka *storage* akan

menyalurkan daya yang tersimpan untuk disalurkan ke beban. Namun dalam implementasinya kebutuhan beban dan jumlah energi yang bisa dihasilkan dari *PV generation* tidak selalu seimbang. Hal ini dikarenakan jumlah energi yang dapat dihasilkan oleh *PV generation* tidak selalu konstan dan dipengaruhi oleh faktor lingkungan. seperti intensitas radiasi cahaya matahari yang diterima oleh *PV generation*. Sehingga dalam penerapannya sistem *stand alone photovoltaic* tidak selalu bisa memenuhi kebutuhan beban setiap saat, sehingga keberlangsungan dalam sistem ini perlu mendapatkan perhatian.

2.1.2. Hybrid Photovoltaic System



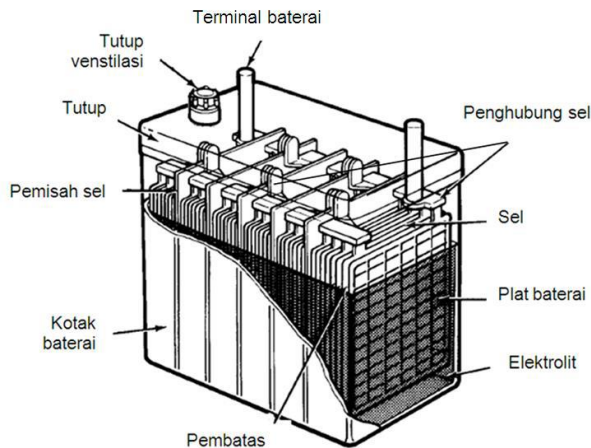
Gambar 2.2 *Hybrid photovoltaic system* [2]

Dalam *Hybrid Photovoltaic System*, sumber energi berasal dari dua sumber, yaitu : *PV generation* dan *grid*. Dengan menggabungkan kedua sumber tersebut, keandalan sistem akan semakin tinggi sehingga keberlangsungan sistem akan semakin baik. Ketika energi yang tersimpan dalam *storage* sudah habis maka kebutuhan beban bisa di penuhi dari sisi *grid*. Dengan sistem ini daya yang dihasilkan oleh PV dapat digunakan dengan optimal dan keberlangsungan sistem bisa berjalan dengan baik.

2.2. Baterai

Baterai merupakan sebuah peralatan yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Pada umumnya baterai terdiri dari 2 atau lebih sel elektrokimia yang dapat mengubah energi

kimia yang tersimpan menjadi energi listrik. Tiap sel memiliki kutub positif (katoda) dan kutub negatif (anoda). Kutub yang bertanda positif menandakan bahwa pada kutub tersebut memiliki energi potensial yang lebih tinggi daripada kutub bertanda negatif. Kutub bertanda negatif adalah sumber elektron yang ketika disambungkan dengan rangkaian eksternal akan mengalir dan memberikan energi ke peralatan eksternal. Ketika baterai dihubungkan dengan rangkaian eksternal, elektrolit dapat berpindah sebagai ion di dalamnya, sehingga terjadi reaksi kimia pada kedua kutubnya. Perpindahan ion dalam baterai akan mengalirkan arus listrik keluar dari baterai sehingga menghasilkan kerja [3].



Gambar 2.3 Bagian pada baterai [3]

2.3. Jenis-Jenis Baterai

Secara garis besar baterai dibedakan menjadi dua jenis, yaitu [4]

2.3.1. Baterai Primer

Baterai jenis ini merupakan jenis baterai yang paling banyak digunakan di pasaran. Jenis baterai ini tidak bisa diisi ulang (*single use battery*) dan kebanyakan baterai langsung dibuang setelah di gunakan. Baterai ini biasanya terbuat dari Seng dan karbon. harga yang terjangkau membuat baterai ini cukup mudah ditemukan di pasaran. Kebanyakan baterai jenis ini diaplikasikan pada peralatan

elektronik yang berdaya rendah, seperti *remote control* dan perangkat portabel yang lainnya.

2.3.2. Baterai Sekunder

Baterai jenis ini merupakan baterai yang dapat di isi ulang (*rechargeable battery*), sehingga bisa digunakan lebih dari satu kali pemakaian. Jenis baterai sekunder antara lain : Baterai *Lead-Acid*, Baterai Ni-Cd (*Nikel Cadmium*), Baterai *Lithium*, dan Baterai *Lead Crystal*.

2.4. Parameter Baterai

Beberapa parameter penting dalam baterai antara lain [2] :

2.4.1. Kapasitas Baterai (*Batery Capacity*)

Kapasitas baterai dapat dinyatakan dalam *Ampere Hour* (Ah). Jika *V* merupakan nilai tegangan pada baterai, maka kapasitas penyimpanan energi baterai dapat dinyatakan dalam $\text{Ah} \times \text{V} = \text{Watt-hour}$. Biasanya kapasitas pada baterai ditentukan oleh nilai *C* yang diberikan pada baterai. Sedangkan kapasitas baterai yang sebenarnya bergantung pada kondisi operasi seperti beban, suhu dan lain sebagainya.

2.4.2. Tegangan Baterai

Tegangan Terminal saat kondisi operasi dikenal dengan istilah tegangan nominal atau tegangan kerja. Nilai tegangan ini akan ditentukan oleh manufaktur pembuat baterai. Tegangan ini biasanya bernilai 3V, 6V, 12V, 24V dan lain sebagainya

2.4.3. State of Charge (SOC)

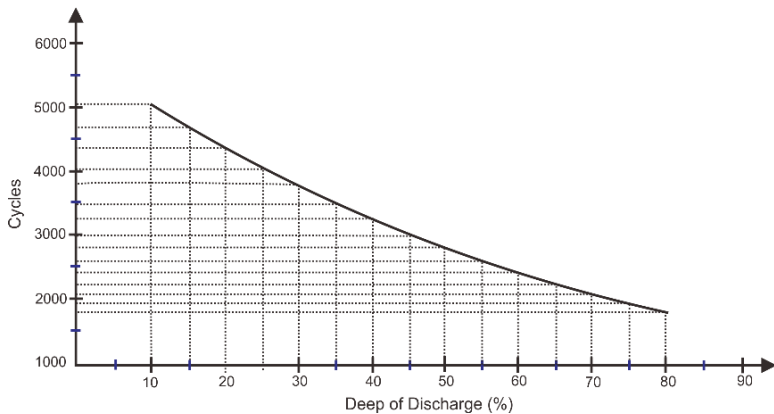
State of charge adalah perbandingan energi yang tersisa dengan kapasitas energi maksimum pada baterai. Nilai SOC memiliki rentan nilai 0-1, dengan 0 menyatakan baterai dalam keadaan kosong, sedangkan 1 merupakan kondisi baterai dengan keadaan penuh. Nilai *State of charge* juga bisa dinyatakan dalam bentuk persentase, 0%-100%. Estimasi *State of charge* adalah salah satu hal yang penting dalam penerapan baterai. Estimasi nilai *state of charge* yang akurat sangat diperlukan untuk menghindari dari kerusakan sistem, mencegah baterai dari keadaan *over charge* dan *over discharge* yang dapat menyebabkan kerusakan permanen pada baterai.

2.4.4. Depth of Discharge (DOD)

Depth of discharge merupakan nilai yang digunakan untuk menggambarkan jumlah kapasitas baterai yang sudah digunakan.

Apabila suatu baterai memiliki nilai SOC sebesar 100%, maka DOD baterai sebesar 0%. Apabila suatu baterai memiliki nilai SOC sebesar 75% maka, baterai tersebut memiliki DOD sebesar 25%. Jadi secara sederhana dapat dikatakan DOD merupakan kebalikan dari SOC. Apabila SOC menyatakan kapasitas baterai yang tersimpan, maka DOD menyatakan banyaknya kapasitas baterai yang sudah digunakan.

Dalam penerapannya nilai DOD baterai yang digunakan akan mempengaruhi jumlah siklus (*cycles*) baterai itu sendiri. Pada gambar 2.4 dapat diketahui baterai *lead-acid* akan memiliki siklus (*lifetime*) yang berbeda sesuai dengan besar atau kecilnya nilai DOD yang digunakan. Jumlah siklus baterai akan bernilai sekitar 4000 kali dengan DOD yang digunakan sebesar 25%. Sedangkan untuk DOD sebesar 80% baterai akan memiliki siklus sekitar 1800 kali, angka ini setara dengan 5 tahun. Pemilihan nilai DOD yang digunakan akan sangat penting untuk menentukan jumlah siklus atau umur baterai yang diinginkan. Mengingat semakin besar nilai DOD yang digunakan maka nilai siklus akan semakin kecil. [5]



Gambar 2.4 Pengaruh nilai DOC terhadap cycles pada baterai [5]

2.4.5. Siklus Hidup Baterai (*Battery life cycle*)

Siklus hidup baterai menunjukkan jumlah pengisian dan pengosongan (satu siklus) yang dapat diterima oleh sebuah baterai

sebelum baterai tidak efektif lagi dalam menampung muatan listrik, dengan syarat penggunaan baterai yang normal dan sesuai aturan. Setelah melewati *life cycle* baterai, baterai masih bisa digunakan namun kapasitas pada baterai akan semakin berkurang.

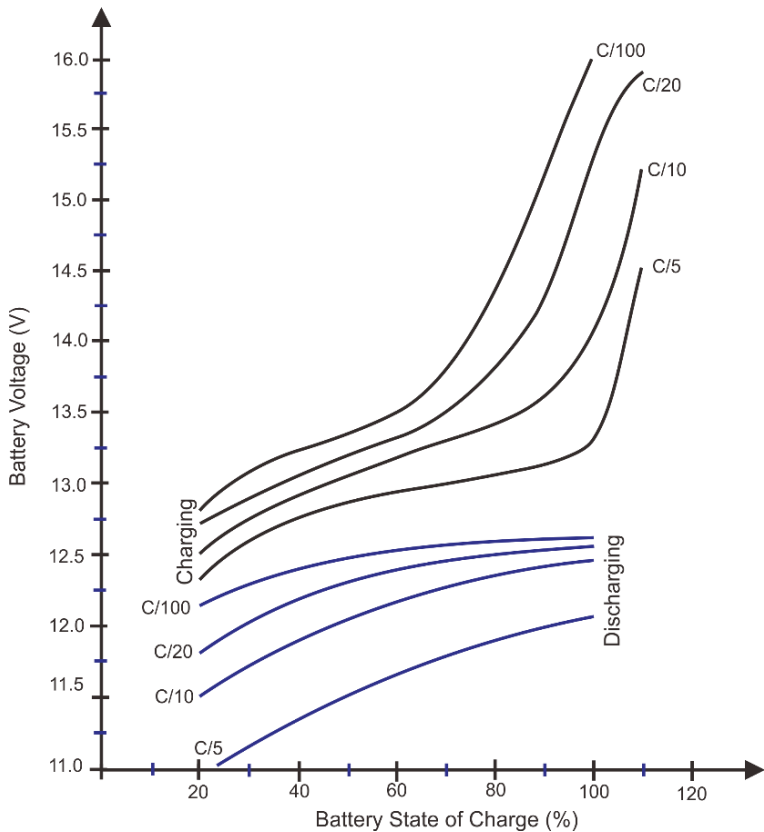
Apabila suatu baterai memiliki keterangan 2000 siklus, dengan 1 siklus terdiri dari 1 kali pengisian dan 1 kali pengosongan maka baterai tersebut dapat digunakan untuk 2000 kali pengisian dan 2000 kali pengosongan. Siklus ini akan memiliki nilai yang sama pada *data sheet* baterai dengan catatan baterai digunakan dengan normal sesuai dengan ketentuan.

2.4.6. Self Discharge

Self Discharge merupakan kapasitas baterai yang hilang saat baterai tidak digunakan atau dalam keadaan tanpa beban. Hal ini dikarenakan proses reaksi kimia yang terjadi di dalam baterai. *Self Discharge* akan meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Oleh karena itu untuk mengurangi *self discharge* pada baterai, baterai dapat disimpan pada ruangan yang memiliki suhu rendah atau suhu pengoperasian baterai.

2.4.7. Tingkat Pengisian dan Pengosongan (C-rating)

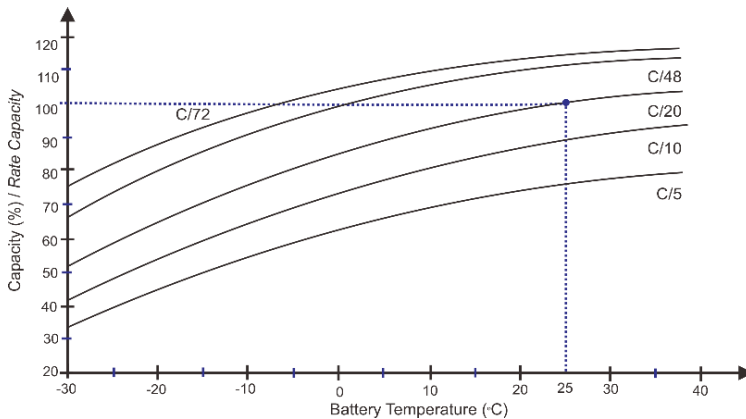
C-rating adalah nilai yang diperoleh dari rasio kapasitas baterai terhadap jumlah jam untuk mengisi baterai hingga penuh (C/X), dengan X adalah waktu pengisian baterai hingga penuh dalam jam. Jika nilai $X = 10$ h maka *C-rating* memiliki nilai 0,1C. Arus pengisian atau arus pengosongan dapat dihitung dengan membagi kapasitas baterai (Ah) dengan total jam pengisian. Untuk baterai berkapasitas 50Ah, memiliki *C-rating* 0,1C maka muatan atau arus yang keluar akan bernilai $50/10 = 5A$. Sedangkan untuk baterai dengan kapasitas 200 Ah dengan *C-rating* C/20, maka arus pengisian atau pengosongan dapat di hitung dengan cara $200Ah/20\ hours = 10A$. Setiap baterai tentunya memiliki tingkat nilai pengisian dan pengosongan yang berbeda, hal ini bergantung pada karakteristik dari setiap baterai itu sendiri [5].



Gambar 2.5 Kurva tegangan dan SOC baterai *lead-acid* 12 dengan nilai C-rating yang berbeda [5]

Dalam penerapannya terdapat perbedaan nilai tegangan baterai saat proses *charging* dan proses *discharging*. Baterai akan cenderung memiliki nilai tegangan yang lebih rendah saat mengalami proses *discharging*. Pada gambar 2.5 dijelaskan tentang grafik hubungan antara nilai tegangan baterai, nilai SOC baterai dan dengan nilai kapasitas pengisian dan pengosongan yang berbeda baik dalam keadaan *charging* dan *discharging*.

2.4.8. Suhu



Gambar 2.6 kurva karakteristik kapasitas baterai *lead-acid* yang bergantung pada tingkat C-rate (*discharge/charge*) dan suhu [5]

Suhu merupakan salah satu hal penting yang harus diperhatikan dalam aplikasi baterai. Dalam penerapannya, suhu baterai yang terlalu dingin dapat menurunkan kapasitas baterai secara signifikan, dalam suhu sekitar $-30^{\circ}\text{C}/(-22^{\circ}\text{F})$, dengan tingkat pengosongan sebesar C/20 maka kapasitas baterai akan turun menjadi sekitar 50%. Namun tidak berarti suhu panas baik dalam pengoperasian baterai, Kenaikan suhu baterai yang diakibatkan karena tingginya suhu lingkungan (*Ambient Temperature*), atau karena arus yang diakibatkan dari proses *charge* dan *discharge* dapat menyebabkan terjadinya korosi, sulfasi, pelepasan gas, *self discharge* dan lain sebagainya. Untuk setiap kenaikan suhu 10°K , *lifetime* baterai akan berkurang sebesar 50%. Suhu operasi normal baterai berkisar $10\text{-}20^{\circ}\text{C}$ [5]. Oleh karena itu perlindungan baterai terhadap suhu lingkungan sangat diperlukan, agar baterai dapat bekerja dalam suhu optimalnya

2.5. Baterai Lead-acid

2.5.1. Jenis Baterai Lead-Acid

Baterai *lead-acid* merupakan jenis baterai yang umum digunakan dalam aplikasi *photovoltaic*. Jenis baterai ini memiliki

rating tegangan 6 V atau 12 V. Berikut ini merupakan beberapa jenis baterai *lead-acid*. antara lain [2] :

- *Flooded Cell Type battery*

Baterai ini merupakan jenis baterai yang umum digunakan untuk aplikasi *renewable energy*. tipe Flat dan Tubular merupakan jenis dari baterai dari *fooled cell*. Pada *flooded batteries* kondisi elektroda terendam dalam elektrolit sepenuhnya. Selama proses pengisian, untuk mencapai kondisi penuh / 100% *State of charge* dibutuhkan reaksi kimia air untuk menghasilkan gas hidrogen dan oksigen pada kedua elektroda (plat positif dan plat negatif). Oleh sebab itu, hal ini mengharuskan pengisian air secara berkala agar proses reaksi kimia ini dapat berlangsung secara terus menerus.

- *Sealed / Gel type Battery*

Baterai jenis ini disebut juga dengan baterai VRLA (*Valve regulated lead acid*). Baterai jenis ini bersifat tertutup (*Sealed*), sehingga penguapan (evaporasi) yang dikeluarkan sangat kecil. Oleh sebab itu baterai jenis ini tidak memerlukan penambahan cairan *electrolyte* selama masa pemakaian baterai. Hal ini dikarenakan Gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan dalam reaksi kimia nantinya akan mengalami proses pembentukan kembali menjadi air. Proses penguapan (evaporasi) pada baterai diatur oleh bagian yang disebut *Valve* (Katup).

baterai jenis ini merupakan tipe baterai yang cocok untuk aplikasi *photovoltaic*, karena beberapa alasan. Antara lain :

1. Dapat di pasang dalam berbagai posisi.
2. Tidak membutuhkan perawatan yang banyak. Sehingga mengurangi biaya *maintanance* dan cocok untuk aplikasi jarak jauh.
3. Tidak membutuhkan penambahan air untuk proses reaksi kimia pada baterai.

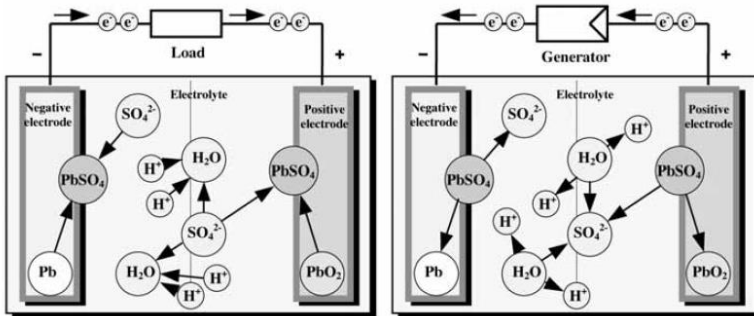
Berikut ini merupakan karakteristik baterai *lead-acid* berdasarkan standar [3]:

Tabel 2.1 Karakteristik baterai *lead-acid* [3]

Karakteristik	Values (PbPbO ₂)
Energy Spesifik (Wh/Kg)	30-50
Resistansi Internal (mΩ)	Sangat Rendah
Siklus Hidup (80% <i>discharge</i>)	200-300
Waktu <i>Fast-Charge</i>	8-16 jam
Toleransi <i>Overcharge</i>	Tinggi
<i>Self Discharge</i> / Bulan	5%
Tegangan Sel (nominal)	2 V
Tegangan Cutoff <i>Charge</i> (V/cell)	2.40 Float 2.25
Tegangan Cutoff <i>Discharge</i> (V/cell, 1C)	1,75
Arus <i>Load Peak</i>	5C
Best result	0.2C
Suhu <i>Charge</i>	-20 sampai 50
Suhu <i>Discharge</i>	-20 sampai 50
Perawatan	3-6 Bulan
Keamanan	Suhu stabil
Digunakan Sejak	Sekitar 1800-an

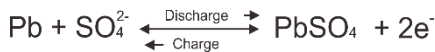
2.5.2. Reaksi pada baterai Lead-Acid

Semua baterai asam timbal beroperasi dengan reaksi dasar yang sama. Saat proses pengosongan baterai, material aktif pada elektroda bereaksi dengan elektrolit membentuk timbal sulfat (PbSO₄) dan air (H₂O). Reaksi ini akan menghasilkan elektron yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Pada saat proses pengisian muatan timbal sulfat (PbSO₄) berubah kembali menjadi timbal dioksida (PbO₂) pada elektroda positif dan timbal (Pb) pada elektroda negatif, dan ion sulfat (SO₄²⁻) kembali menjadi larutan elektrolit membentuk asam sulfat. Kedua reaksi ini akan terus berjalan saat proses pengosongan dan pengisian pada baterai. Berikut ini merupakan reaksi pada baterai *lead-acid* baik saat *charge* dan *discharge* [6] :



Gambar 2.7 Charging dan discharging Lead-acid battery [6]

Negative electrode :



Positive electrode :



Net reaction :



2.6. Perhitungan Nilai State of Charge (SOC) baterai

Berikut ini merupakan beberapa metode dalam menentukan estimasi nilai *State of charge* pada baterai :

2.6.1. Metode Coulomb counting

Perhitungan nilai estimasi *State of charge (SOC)* menjadi salah satu hal penting dalam aplikasi baterai dalam *renewable energy*. Estimasi nilai SOC yang tepat dapat mencegah sistem mengalami gangguan dan mencegah baterai dari keadaan *over-charge* dan *over-discharge*, yang dapat membuat kerusakan permanen pada baterai. Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah metode perhitungan *coulomb*. Pada metode ini nilai estimasi *State of charge* pada baterai dapat di hitung dengan menghitung muatan listrik (*coulomb*) yang masuk atau keluar melalui baterai. Arus listrik dihasilkan dari sejumlah muatan listrik yang bergerak per satuan waktu (dalam sekon). Oleh karena itu

proses perhitungan jumlah *coulomb* pada baterai dapat dilakukan dengan proses integral jumlah arus yang masuk dan keluar per satuan waktu. Secara umum, metode *coulomb counting* dapat dihitung dengan persamaan berikut ini [7] :

$$I = \frac{dQ}{dt} \rightarrow Q = \int_{t_0}^t I dt$$

$$SOC(t) = SOC(t_0) - \frac{1}{Cn} \int_{t_0}^t I dt$$

Dimana :

- Q : Muatan Listrik
- SOC (to) : SOC awal sebelum terjadi proses pengisian /pengosongan
- Cn : Kapasitas maksimum baterai
- I : Besar arus listrik yang masuk atau keluar dari baterai.

Dalam penelitian ini ditetapkan bahwa efisiensi pengisian/pelucutan baterai adalah 0,99 karena baterai dianggap dalam kondisi masih baru dan tidak ada *losses* pada terminal kutub baterai.

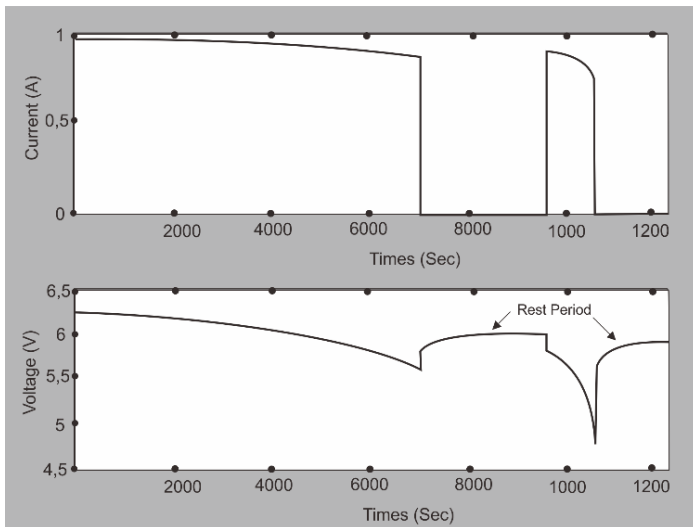
Salah satu parameter penting penentuan nilai SOC dengan menggunakan metode *coulomb counting* adalah penentuan nilai *initial* SOC. *Initial* nilai SOC yang akurat sangat diperlukan untuk mendapatkan nilai SOC baterai yang sebenarnya.

2.6.2. Metode *open circuit voltage* (OCV)

Perhitungan SOC dengan menggunakan metode *open circuit voltage* (OCV) dapat dilakukan dengan mengukur nilai tegangan baterai saat keadaan *open circuit* atau tanpa beban. Kondisi awal baterai juga diperlukan untuk melakukan pengujian hubungan nilai SOC dengan menggunakan metode OCV [8]. Metode ini cukup efektif untuk menentukan estimasi nilai SOC pada baterai, namun harus mempertimbangkan *rest periode* pada baterai.

Pada penerapannya untuk mendapatkan nilai pengukuran OCV yang stabil baterai memerlukan waktu 30 menit - 2 jam. Rentang waktu dimana baterai tidak menerima arus atau memberikan arus disebut dengan "*Rest Period*". *Rest period* pada

baterai *lead-acid* ditunjukkan pada Gambar 2.8. pada gambar 2.8 ketika baterai dalam keadaan tanpa beban, nilai tegangan pada baterai pada awalnya mengalami kenaikan yang cukup signifikan, namun lama kelamaan kenaikan nilai tegangan ini akan menurun hingga tegangan baterai dalam keadaan stabil. Oleh karena itu pengukuran baterai menggunakan metode OCV harus mempertimbangkan faktor *rest period* baterai untuk mendapatkan tegangan yang stabil [9].



Gambar 2.8 *Current time and Voltage versus time discharges curve containing rest periods [9]*

Berikut ini merupakan persamaan baterai saat mencapai Keadaan *rest periode* [10]:

$$V_{oc} = V_{tr} \pm K_v$$

Dimana :

- V_{oc} = Equilibrated OCV
- V_{tr} = Tegangan saat pengukuran
- K_v = Konstanta dari persamaan V_{tr} - V_{oc}

Sampai saat ini penelitian tentang metode estimasi SOC sudah berkembang dengan menggunakan berbagai macam metode, berikut ini merupakan sejarah perkembangan metode estimasi SOC baterai [7]:

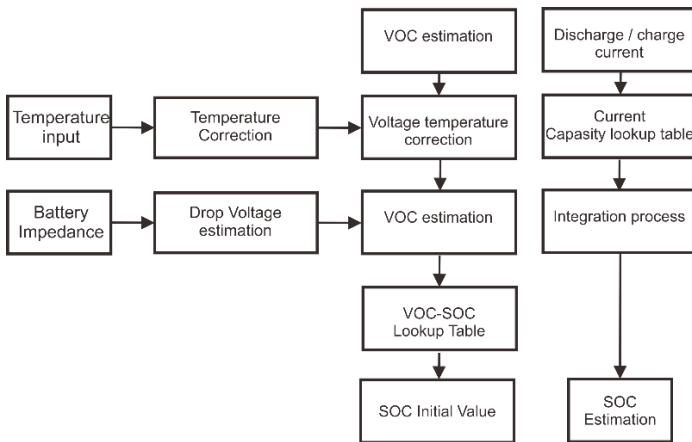
Tabel 2.2 Sejarah perkembangan metode estimasi SOC [7]

Tahun	Peneliti/ Perusahaan	Metode
1938	Heyer	<i>Voltage measurements</i>
1963	Curtis	<i>Voltage measurements and threshold in voltage levels</i>
1970	Lerner	<i>Comparison between two batteries (one with a known SoC)</i>
1974	Brandwein	<i>Voltage, temperature and current measurements</i>
1975	Christianson	<i>OCV</i>
1975	Dowgiallo	<i>Impedance measurements</i>
1975	Finger	<i>Coulomb Counting</i>
1978	Eby	<i>OCV and voltage under load</i>
1980	Kikuoka	<i>Book-keeping</i>
1981	Finger	<i>Voltage relaxation</i>
1984	Peled	<i>Look-up tables based on OCV and T measurements</i>
1988	Seyfang	<i>Book-keeping and adaptive system</i>
1992	Aylor	<i>OCV, OCV prediction and coulometric measurements</i>
1997	Gerard	<i>Voltage and current measurements, artificial neural networks</i>
1999	Salkind	<i>Coulomb counting, impedance spectroscopy, fuzzy logic</i>
2000	Garche	<i>Voltage and current measurements, Kalman filters</i>
2000	Bergveld	<i>Book-keeping, overpotential, EMF, maximum capacity learning algorithm</i>

2.6.3. Adaptive-modified coulomb counting SOC estimation

Estimasi SOC dengan menggunakan metode *coulomb counting*, penentuan *initial* SOC menjadi variabel penting untuk menentukan nilai SOC yang akurat pada baterai. Kondisi baterai yang semakin tua menjadi hal yang perlu dipertimbangkan, karena pada metode ini tidak memiliki kemampuan untuk mengikuti perubahan yang terjadi seiring dengan penuaan yang terjadi pada baterai.

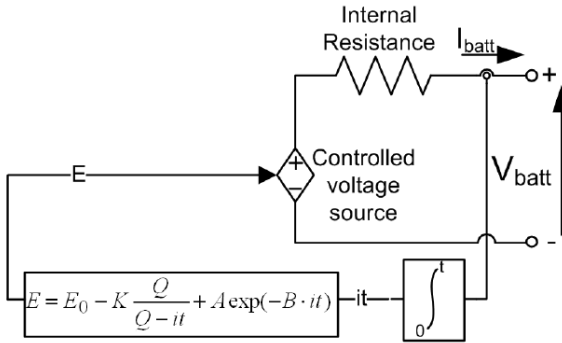
Untuk mendapatkan *initial* nilai SOC yang akurat, dapat menggunakan metode *adaptive-modified Coloumb Counting*. Agar mendapatkan nilai *initial* SOC yang akurat, dibutuhkan pengukuran tegangan terminal dan suhu pada baterai. Tegangan terminal yang diukur harus di koreksi berdasarkan kondisi suhu saat itu. Sedangkan untuk menentukan nilai estimasi tegangan *open circuit* dapat diukur dengan cara mengukur nilai *drop* tegangan yang dikoreksi dari arus dan impedansi. Nilai impedansi baterai dimodelkan dengan nilai yang dinamis. Pengkoreksian nilai tegangan *open circuit test* dikonversi menggunakan tabel Lookup VOC-SOC [11]



Gambar 2.9 Adaptive-modified coloumb counting SOC estimation method block [11]

2.7. Pemodelan Baterai

Pada dasarnya terdapat 3 pemodelan baterai yang sering digunakan untuk menentukan nilai SOC pada baterai, antara lain : *experimental*, *electrochemical* and *electric circuit-based*, namun model yang paling tepat digunakan untuk melihat karakteristik dari suatu baterai adalah *electric circuit-based*. Dalam pemodelan *electric circuit-based* pemodelan baterai dapat di representasikan dengan satu buah sumber tegangan dan satu buah tahanan dalam baterai. Pemodelan ini merupakan jenis pemodelan paling sederhana dalam pemodelan *electric circuit-based*. Berikut ini merupakan *simple models electric circuit-based* [12] :



Gambar 2.10 *Non linear battery model* [12]

Nilai sumber tegangan terbuka pada pemodelan ini berasal dari persamaan *non-linear* yang berdasarkan nilai SOC pada baterai. Pemodelan ini mengasumsikan karakteristik baterai yang sama baik pada Proses pengisian dan proses pengosongan. Sumber tegangan terbuka direpresentasikan dengan persamaan berikut ini :

$$E = E_0 - K \frac{Q}{Q - it} + A \cdot \exp(-B \cdot it)$$

Dimana :

- E = Tegangan baterai tanpa beban (V)
- E₀ = tegangan konstan baterai (V)
- K = *Polarisation voltage* (V)
- Q = Kapasitas baterai (Ah)

$\int i dt$	= Arus pengisian (A)
A	= <i>Exponential zone amplitude</i> (V)
B	= <i>Exponential zone time constan invers</i> (Ah^{-1})
V batt	= Tegangan baterai (V)
R	= <i>internal resistance</i> (Ohm)
i	= <i>Battery current</i> (A)

Pemodelan baterai ini memiliki beberapa asumsi antara lain :

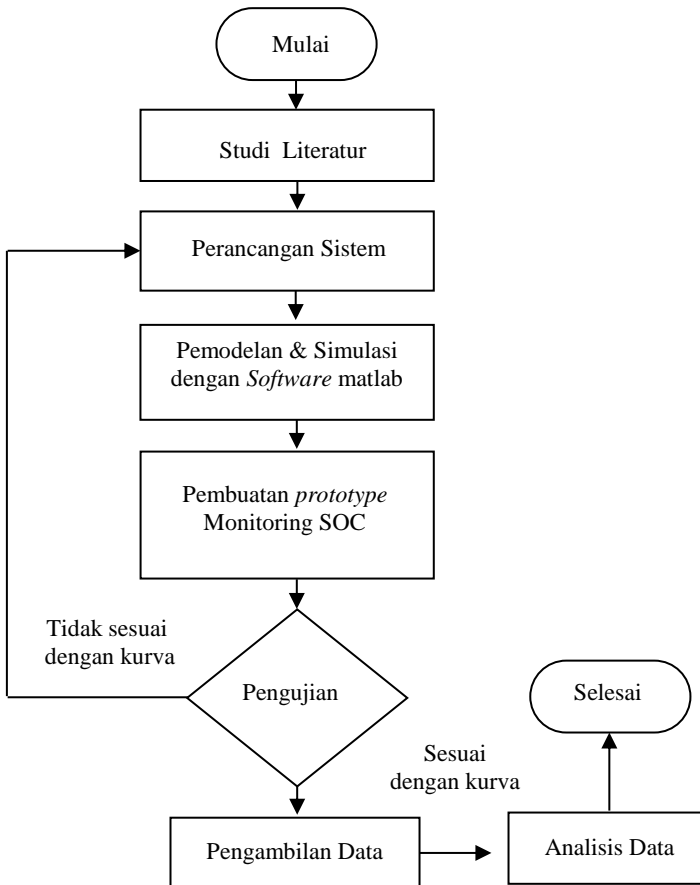
1. Nilai tahanan dalam baterai diasumsikan memiliki nilai yang konstan selama proses pengisian dan pengosongan berlangsung
2. Nilai parameter pada pemodelan ini direduksi dari kurva *discharge* karakteristik pada data *sheet* baterai
3. Nilai kapasitas baterai tidak berubah seiring dengan perubahan nilai arus yang digunakan
4. Pemodelan ini tidak mempertimbangkan pengaruh suhu lingkungan.
5. Pemodelan ini tidak merepresentasikan *self dischrage* pada baterai
6. Baterai dianggap tidak memiliki *memory effect*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Gambaran umum



Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Tugas Akhir

Secara umum terdapat 3 proses dalam pembuatan sistem *monitoring* baterai, yaitu : Proses pengisian (*Charge*), proses pengosongan (*Discharge*) dan proses akuisisi data nilai arus untuk menentukan nilai SOC baterai. Pada Tugas Akhir ini dilakukan tahapan pengerjaan sebagai berikut :

Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan proses studi tentang referensi-referensi yang berkaitan dengan topik yang di angkat. Seperti karakteristik baterai *Lead-acid*, Metode perhitungan SOC, Pemodelan sistem *monitoring* baterai dan lain sebagainya.

Perancangan Sistem

Perancangan sistem dirancang berdasarkan beberapa literatur yang ada, seperti jurnal dan buku. Perancangan ini dilakukan agar dapat melakukan proses perhitungan nilai SOC (*State of charge*) pada baterai, baik ketika proses pengisian (*Charge*) atau pengosongan (*discharge*). Perancangan sistem ini dilakukan dengan menggunakan metode perhitungan coulomb (*Coulomb Counting*).

Pemodelan sistem dengan menggunakan software Matlab

Memodelkan sistem *monitoring* perhitungan nilai SOC dengan menggunakan *software Matlab*, pemodelan ini dibuat baik saat pengisian (*charging*) atau pengosongan (*discharging*). pemodelan ini juga berdasarkan dengan metode yang digunakan, yaitu metode *coulomb counting*. Pemodelan ini bertujuan untuk dapat melakukan perhitungan nilai SOC pada baterai.

Simulasi

Simulasi yang digunakan bertujuan untuk menentukan nilai SOC pada baterai serta melakukan uji coba pada sistem yang sudah dibuat.

Pembuatan *Prototype* monitoring SOC

Pembuatan *prototype* monitoring SOC pada tugas akhir ini menggunakan metode *coulomb counting*, dimana estimasi SOC pada baterai dilakukan dengan menghitung jumlah muatan yang masuk atau keluar dari baterai. Dalam *prototype* ini terdapat sensor

arus untuk mendeteksi nilai arus yang masuk atau keluar dari baterai, dan sensor tegangan untuk mendeteksi nilai tegangan pada baterai, Serta mikrokontroller Arduino untuk melakukan proses perhitungan nilai SOC.

Pengujian *Prototype*

Pengujian dilakukan dengan mengambil data Arus dan tegangan pada baterai untuk dijadikan bahan perhitungan nilai SOC (*state of charge*) dengan menggunakan metode *coulomb counting*. Dalam proses pengujian ini beban yang digunakan berupa beban resistif.

Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pada proses pengisian dan proses pengosongan pada baterai. Jenis data yang di ambil berupa tegangan baterai, arus yang mengalir pada baterai, Serta nilai SOC pada baterai.

Analisis Data

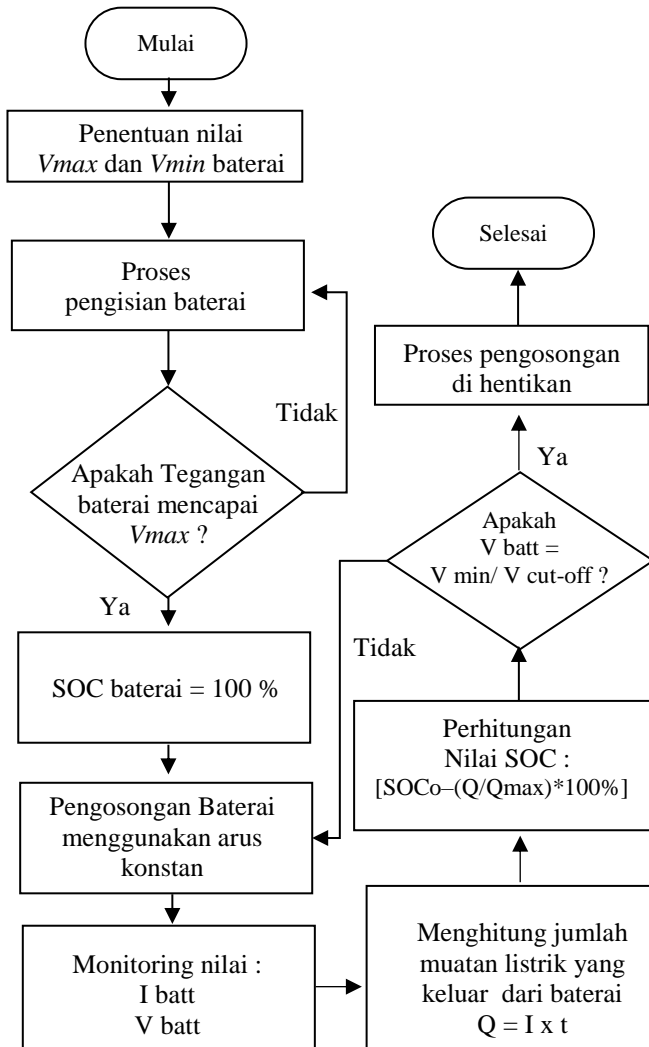
Setelah proses pengambilan data selesai, maka akan dilakukan analisa pada data yang sudah di dapatkan. Pada proses ini akan dilakukan analisa tentang hubungan nilai tegangan terhadap nilai SOC (*State of charge*) pada baterai, selain itu juga akan dilakukan analisa tentang hubungan jumlah *coulomb* pada baterai dengan nilai SOC (*State of charge*) pada baterai.

Penarikan Kesimpulan

Setelah melihat beberapa kondisi yang ada, maka ditarik beberapa kesimpulan. Kesimpulan ini juga di akhiri dengan pemberian saran dan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya

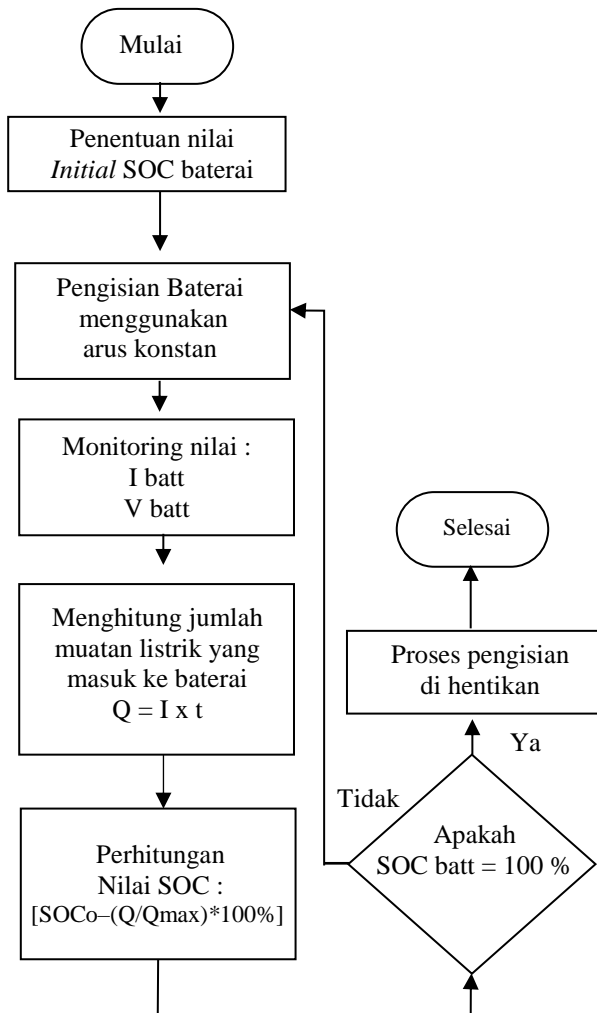
3.2. Prosedur pengujian

3.2.1. Prosedur pengosongan baterai



Gambar 3.2 Prosedur pengosongan baterai

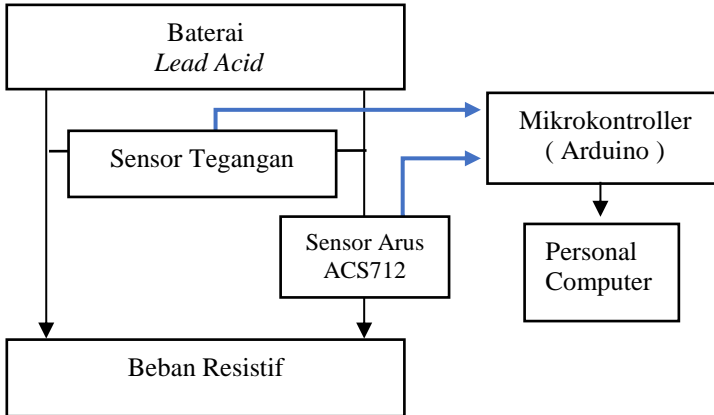
3.2.2. Prosedur pengisian baterai



Gambar 3.3 Prosedur pengisian baterai

3.3. Perancangan Sistem

3.3.1. Proses pengosongan baterai

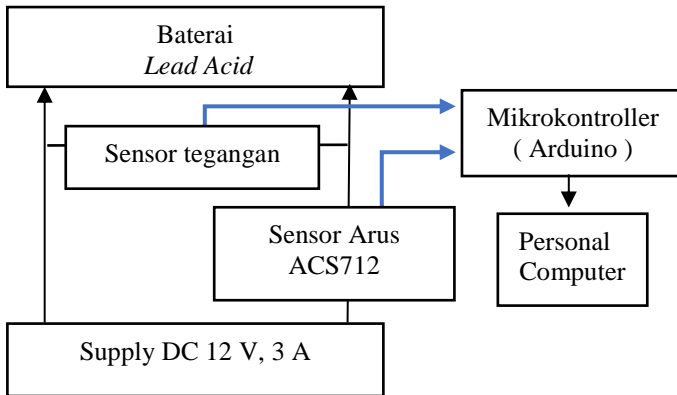


Gambar 3.4 Perancangan alat pada proses pengosongan baterai

Pada diagram blok di atas alur kerja sistem dimulai dari rangkaian pembagi tegangan. rangkaian pembagi tegangan ini nantinya dihubungkan dengan baterai *lead-acid*. fungsi utama dari rangkaian ini untuk membagi tegangan yang dikeluarkan oleh baterai agar dapat terbaca oleh perangkat *mikrokontroler* (Arduino). Selain itu rangkaian pembagi tegangan ini juga bisa digantikan dengan rangkaian *cell board BMS* sebagai sensor tegangan. Rangkain *cell board* ini juga dapat digunakan untuk mengatur rangkaian baterai lebih dari 1. Fungsi lain dari *cell board BMS* ini adalah untuk membagi tegangan yang dikeluarkan oleh baterai. Pemberian beban dilakukan agar arus dapat mengalir dari baterai ke beban, sehingga nilai arus keluaran dari baterai dapat dideteksi dengan menggunakan sensor arus. Data arus dan tegangan yang diperoleh akan dihubungkan ke mikrokontroler (arduino). Proses ini akan dilanjutkan dengan pengiriman data dari mikrokontroler (arduino) ke PC (*Personal Computer*). Pada PC dilakukan proses perhitungan nilai SOC berdasarkan data yang ada, perhitungan

nilai SOC dilakukan dengan menggunakan metode *coulomb counting*.

3.3.2. Proses pengisian baterai



Gambar 3.5 Perancangan alat pada proses pengisian baterai

Alur kerja sistem pada proses ini dimulai dari pengisian arus yang berasal dari Supply 12 VDC, hal ini bertujuan agar arus dapat mengalir ke baterai sehingga tegangan pada baterai akan bertambah hingga mencapai tegangan yang dibutuhkan. Supply 12 VDC dihubungkan dengan sensor arus untuk mendeteksi nilai arus yang diberikan. Fungsi rangkaian pembagi tegangan / *cell board* BMS pada sistem ini juga sama dengan sistem pengosongan baterai, yaitu sebagai sensor tegangan dan berperan dalam proses pembagian tegangan yang menuju ke perangkat mikrokontroler (arduino). Data arus dan tegangan yang diperoleh dari sensor arus dan sensor tegangan akan dihubungkan ke mikrokontroler (arduino). Proses ini akan dilanjutkan dengan pengiriman data dari mikrokontroler (arduino) ke PC (*Personal Computer*). Pada PC dilakukan proses perhitungan nilai SOC berdasarkan data yang ada, proses perhitungan nilai SOC dilakukan dengan menggunakan metode *coulomb counting*.

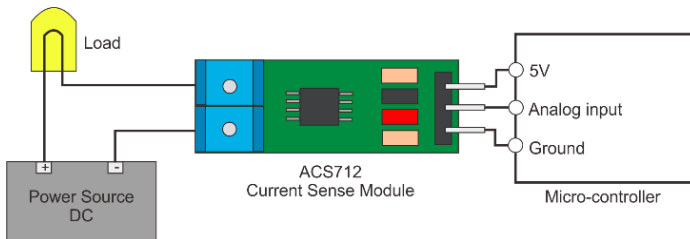
3.4. Perangkat keras pada system

3.4.1. Baterai Lead Acid

Baterai *lead-acid* merupakan jenis baterai yang sering digunakan dalam aplikasi *photovoltaic*. Baterai yang digunakan dalam percobaan ini adalah baterai Panasonic LC-V127R2NA dengan rating tegangan sebesar 12 VDC dengan *Nominal Capacity* (20 hour rate) 7,2Ah.

3.4.2. Sensor arus (ACS712)

Dalam perhitungan nilai SOC dengan menggunakan metode *coulomb counting*, maka peran sensor arus sangat penting, mengingat perhitungan nilai SOC dengan menggunakan metode *coulomb counting* bergantung pada arus yang masuk atau keluar dari baterai. Oleh karena itu dibutuhkan sensor arus yang memiliki tingkat ketelitian yang baik. Dalam perancangan sistem *monitoring* ini, sensor arus yang digunakan adalah ACS712. Pada gambar 3.6, sensor arus ACS712 memiliki 3 pin, yaitu : Vcc, Analog *input* dan *ground*. 3 pin tersebut nantinya akan dihubungkan pada pin *input micro-controller* arduino.

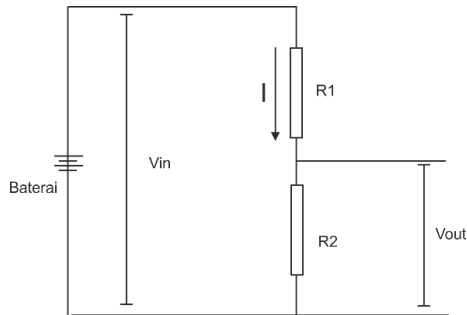


Gambar 3.6 Konfigurasi pin ACS 712

3.4.3. Sensor Tegangan

Sensor tegangan berfungsi untuk mendeteksi nilai tegangan pada baterai, baik saat proses *charge* dan *discharge*. Sehingga baterai bisa dioperasikan pada *rating* tegangannya. Berdasarkan *rating* tegangan pada baterai *lead-acid* yang digunakan, tegangan keluaran maksimal pada baterai sebesar 13 V. Maka untuk mendapatkan tegangan yang sesuai dengan *rating* tegangan mikrokontroler arduino dapat menggunakan metode

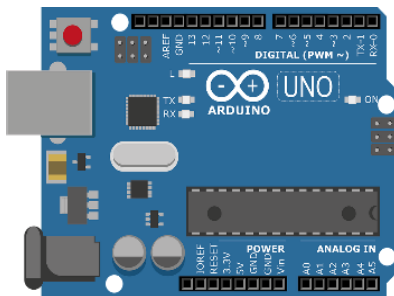
pembagi tegangan sehingga dapat diperoleh tegangan tidak lebih dari 5V.



Gambar 3.7 Rangkaian pembagi tegangan

3.4.4. Mikrokontroler

Mikrokontroler pada sistem *monitoring* baterai berperan dalam menerima data nilai arus dari sensor arus serta menerima input tegangan dari sensor tegangan baterai. Salah satu jenis mikrokontroller yang banyak digunakan dan mudah dalam penggunaannya yaitu arduino. Pada penerapannya Mikrokontroler ini juga berperan dalam proses perhitungan nilai SOC dengan menggunakan metode “*coulomb counting*”. Pengambilan sampling nilai tegangan baterai, arus baterai, dan SOC dilakukan setiap 1 detik.



Gambar 3.8 Mikrokontroler Arduino

(www.arduino.cc)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

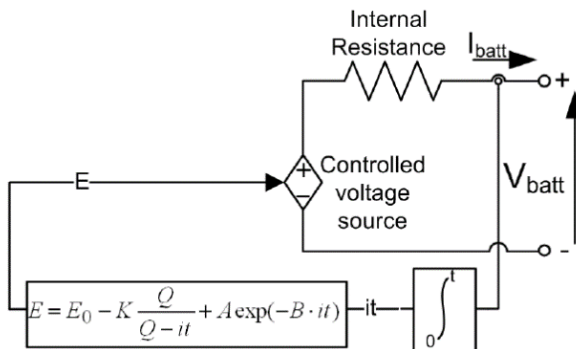
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam tugas akhir ini dirancang sebuah alat *monitoring* untuk menentukan nilai *State of Charge* (SOC) dengan Menggunakan metode *coulomb counting*. Implementasi baterai yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah baterai Panasonic LC-V127R2NA, dengan tegangan kerja 12V, dan kapasitas sebesar 7,2 Ah. Perhitungan nilai SOC baterai dilakukan pada saat proses pengosongan (*discharge*) dan proses pengisian (*charge*). Pada bab ini juga dilakukan pengujian/kalibrasi sensor arus dan sensor tegangan yang digunakan, hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai Arus dan tegangan yang akurat baik pada proses *charge* dan proses *discharge*, mengingat parameter Arus dan tegangan merupakan parameter yang penting dalam penentuan nilai SOC baterai. Pada tahap berikutnya akan dilakukan pengujian tambahan untuk menentukan nilai SOC baterai dengan menggunakan metode *open circuit voltage* sebagai metode pembanding. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data tambahan berupa hubungan nilai tegangan terbuka baterai (V_{oc}) dengan SOC baterai. Sehingga data ini dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan *initial* SOC dengan menggunakan metode *coulomb counting*.

4.1. Hasil Simulasi

4.2.1. Pemodelan Baterai

Berikut ini merupakan pemodelan baterai yang digunakan dalam tugas akhir ini :

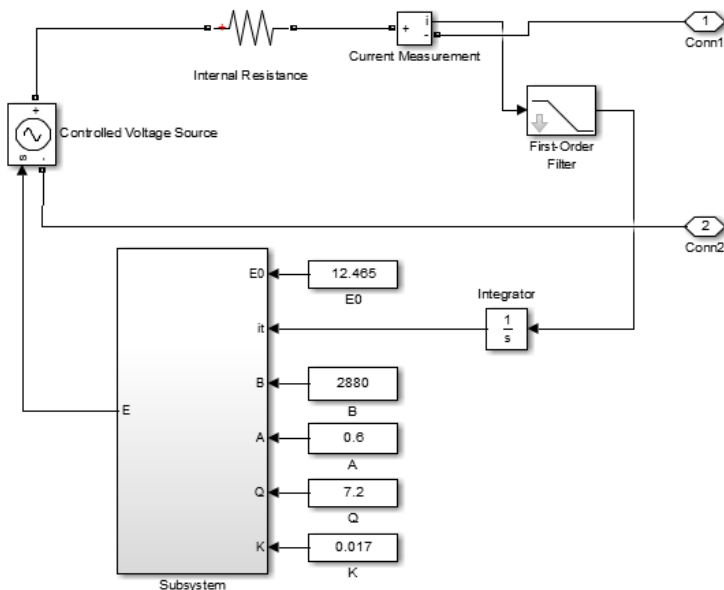


Gambar 4.1 Non linear battery model [12]

Dengan keterangan sebagai berikut :

- E = Tegangan baterai tanpa beban (V)
- E0 = Tegangan konstan baterai (V)
- K = *Polarisation voltage* (V)
- Q = Kapasitas Baterai (Ah)
- $\int it$ = *Actual battery charge* (Ah)
- A = Exponential zone amplitude (V)
- B = Exponential zone time constan inverse (Ah^{-1})
- V *batt* = Tegangan Baterai (V)
- R = Tahanan dalam baterai (ohm)
- I = Arus baterai (A)

Nilai parameter ini didapatkan dari proses perhitungan dan pengambilan data dari data *sheet* baterai *lead-acid* yang akan diuji dalam penelitian ini. Berikut ini merupakan hasil pemodelan baterai dengan menggunakan *software simulink matlab* :



Gambar 4.2 Pemodelan baterai pada *simulink matlab*

Pada pemodelan baterai ini menggunakan nilai parameter sebagai berikut [12] :

1. Internal resistance

Berdasarkan data yang diperoleh dari data *sheet* baterai *Lead-acid* LC-V127R2NA *internal resistance* pada baterai adalah 0,024 ohm

2. A : voltage drop during the exponential zone (V)

$$A = E_{full} - E_{exp}$$

$$A = 13 - 12,4$$

$$A = 0,6 \text{ V}$$

3. B : Charge at the end of exponential zone (Ah)

$$B = \frac{3}{Q_{exp}}$$

4. Penentuan parameter polarisation voltage (K)

Penentuan nilai parameter ini bisa didapatkan dari persamaan tegangan pada baterai dalam keadaan *full*, sehingga diasumsikan tidak ada arus listrik yang mengalir ke baterai.

$$K = \frac{(E_{full} - E_{Nom} + A(\exp(-B \cdot Q_{Nom}) - 1)) \cdot (Q - Q_{Nom})}{Q_{Nom}}$$

$$K = \frac{(13 - 12 + 0,6 \cdot (\exp(-2,083 \cdot 7,2) - 1)) \cdot (7,5 - 7,2)}{7,2}$$

$$K = 0,017 \text{ V}$$

5. Penentuan nilai constan voltage (Eo)

Pada perhitungan ini, nilai *discharge current* yang digunakan adalah 1,44 A atau dengan *C-rating* 0,2C. Sehingga baterai membutuhkan waktu pengisian sekitar 5 jam.

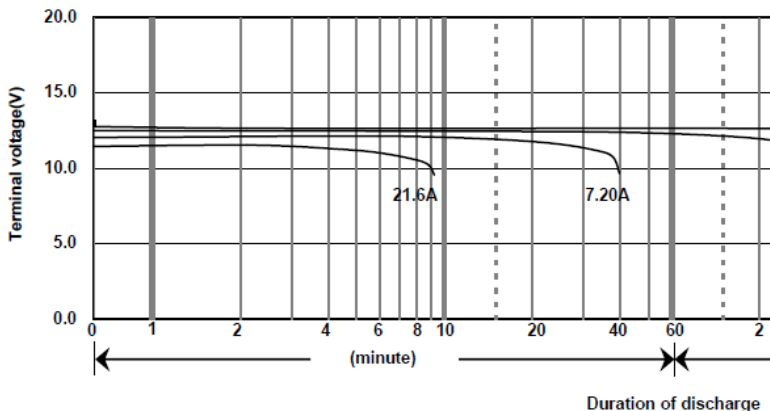
Berikut ini merupakan perhitungan nilai parameter K pada pemodelan baterai ini :

$$\begin{aligned} E_o &= E_{full} + K + R \cdot i - A \\ E_o &= 13 + 0,017 + 0,024 \cdot 1,44 - 0,6 \\ E_o &= 12,45 \text{ V} \end{aligned}$$

Pemodelan ini memiliki beberapa asumsi, antara lain [12] :

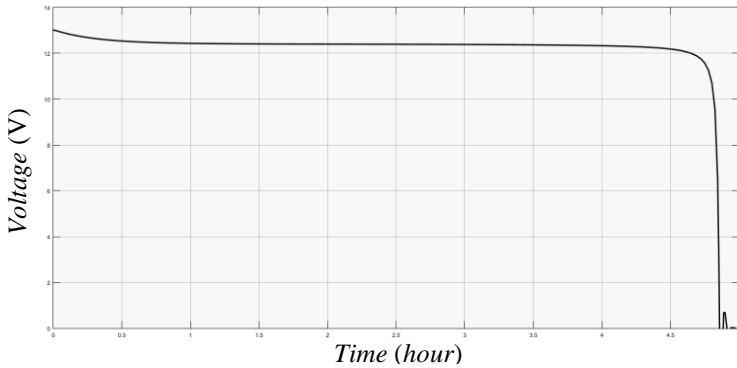
1. Nilai tahanan dalam baterai diasumsikan memiliki nilai yang konstan selama proses pengisian dan pengosongan berlangsung
2. Nilai parameter pada pemodelan ini direduksi dari kurva *discharge* karakteristik pada data *sheet* baterai
3. Nilai kapasitas baterai tidak berubah seiring dengan perubahan nilai arus yang digunakan
4. Pemodelan ini tidak mempertimbangkan pengaruh suhu lingkungan.
5. Pemodelan ini tidak merepresentasikan *self discharge* pada baterai
6. Baterai dianggap tidak memiliki *memory effect*.

Simulasi yang dijalankan menggunakan beban resistif dengan nilai 8,33 ohm. Proses simulasi dijalankan selama 5 jam. Berdasarkan hasil simulasi yang sudah didapatkan dapat disimpulkan bahwa pemodelan baterai ini sudah dapat memodelkan kurva *discharge* karakteristik yang sesuai dengan data *sheet* baterai *lead-acid* LC- V127R2NA.



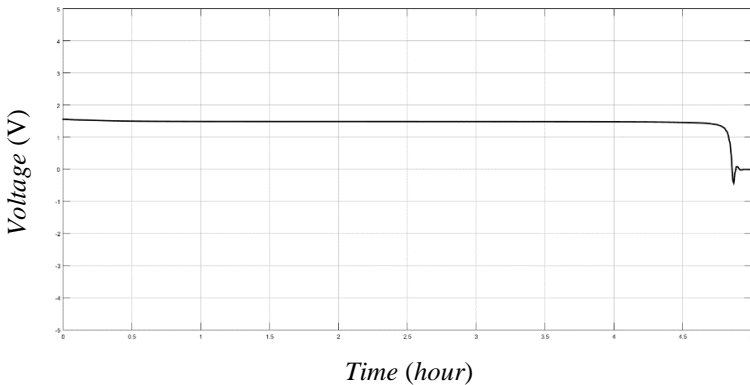
Gambar 4.3 Kurva *discharge* karakteristik baterai *lead-acid* LC- V127R2NA. [14]

Berikut ini merupakan grafik hasil simulasi pada proses pengosongan (*discharge*) baterai :



Gambar 4.4 Kurva *discharge* karakteristik (simulasi)

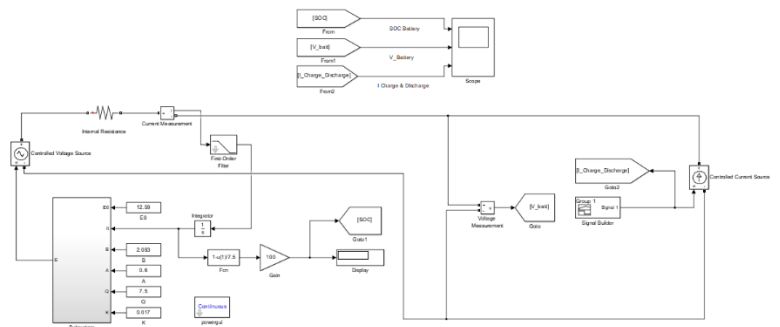
Pada simulasi ini nilai arus *discharge* yang digunakan sebesar 1,44 A, namun nilai arus ini tidak selalu konstan selama proses pengosongan berlangsung, hal ini dikarenakan nilai arus *discharge* juga bergantung pada nilai tegangan pada baterai. Berikut ini merupakan grafik arus *discharge* yang didapatkan pada proses simulasi :



Gambar 4.5 *Discharge current*

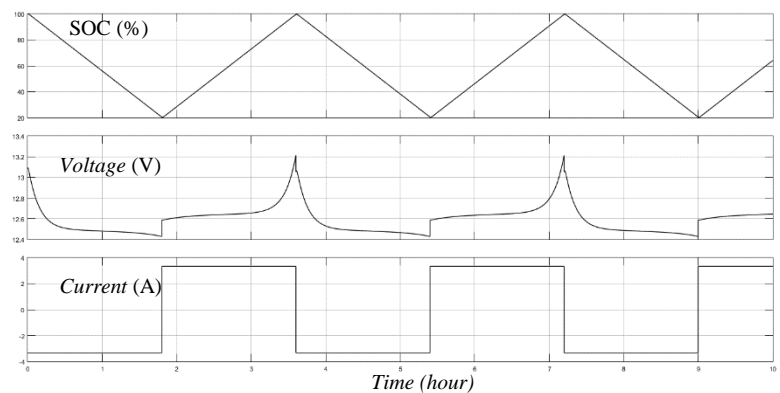
4.2.2. Perhitungan SOC baterai dengan menggunakan metode *Coulomb Counting*.

Berikut ini merupakan rangkaian simulasi perhitungan SOC dengan menggunakan metode *coulomb counting* :



Gambar 4.6 Simulasi perhitungan SOC dengan metode *coulomb counting*

Berikut ini merupakan grafik simulasi yang didapatkan :



Gambar 4.7 Grafik simulasi proses pengisian dan pengosongan

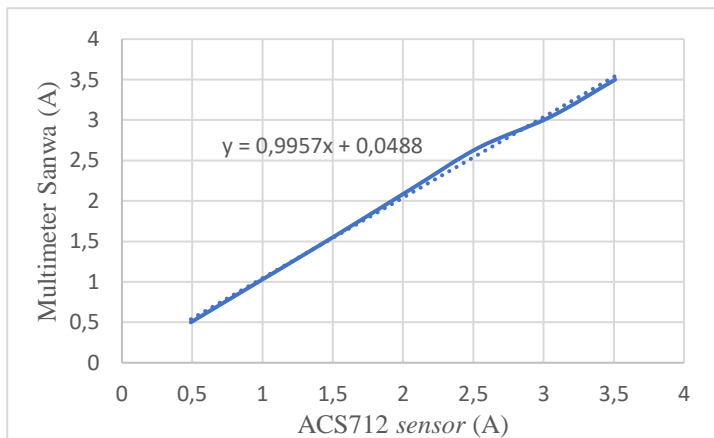
Pada simulasi ini, baterai di atur dalam keadaan penuh, sehingga *initial* SOC baterai bernilai 100%. Proses simulasi pengosongan dan pengisian baterai dilakukan selama 10 jam. Pada proses pengosongan,

baterai akan dihubungkan dengan beban resistif. ketika SOC baterai bernilai 20% maka proses pengosongan akan dihentikan. Selanjutnya baterai akan di *charge* hingga SOC baterai bernilai 100%. Berdasarkan grafik simulasi yang didapatkan, dapat diperoleh informasi bahwa nilai tegangan baterai akan cenderung lebih tinggi ketika baterai dalam keadaan *charge*. Dalam implementasinya baterai sangat tidak dianjurkan beroperasi dengan nilai SOC yang terlalu rendah, misalnya dengan SOC kurang dari 20%. Hal ini dikarenakan semakin besar nilai DOD yang digunakan maka jumlah *cycle* pada baterai akan semakin berkurang.

4.2. Pengujian Sensor Arus

Salah satu komponen penting dalam alat *monitoring* SOC ini adalah sensor arus, mengingat metode *coulomb counting* sangat bergantung pada keakuratan nilai arus yang diukur. Oleh karena itu pengujian sensor arus yang digunakan dalam alat ukur ini sangat diperlukan untuk mendapatkan nilai arus yang akurat. Sensor arus yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah ACS712 dengan maksimal arus sebesar 20 A. Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai hasil pengukuran antara sensor arus ACS712 dan alat pengukuran yang sudah terkalibrasi (Multimeter SANWA).

Berikut ini merupakan hasil pengujian sensor arus ACS712 dengan alat pengukuran yang sudah terkalibrasi (Multimeter SANWA) :



Gambar 4.8 Grafik pengujian sensor arus ACS712

Berikut ini merupakan tabel hasil pengujian sensor arus ACS712 dengan nilai pengujian arus yang berbeda :

Tabel 4.1 Tabel hasil pengujian sensor arus ACS712

I Terukur (A) (ACS712)	I Terukur (A) (Alat ukur SANWA)	Error (%)
3,51	3,50	0,29
3,05	3,04	0,33
2,54	2,66	2,31
2,07	2,16	4,17
1,50	1,55	3,23
1,01	1,04	2,88
0,49	0,5	2
Rata-rata nilai error		2,48

Dari hasil pengujian tersebut di dapatkan nilai pengukuran pada sensor ACS712 sudah mendekati nilai pada multimeter SANWA, dengan nilai *error* sebesar 2,48%. Sehingga dapat disimpulkan sensor arus yang digunakan pada alat *monitoring* ini bisa dikatakan dapat bekerja dengan baik.

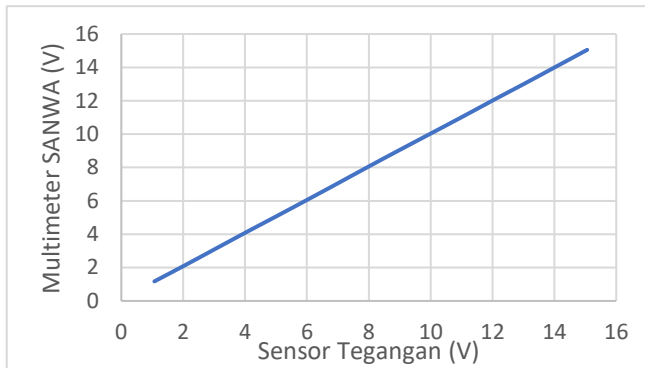
4.3. Pengujian sensor tegangan

Sensor tegangan juga memiliki peranan penting dalam mendeteksi nilai tegangan baterai, mengingat baterai sangat tidak dianjurkan beroperasi di bawah tegangan *cut-off* baterai / dengan SOC kurang dari 20%. Sensor tegangan ini nantinya akan membaca nilai tegangan baterai baik saat proses pengisian dan proses pengosongan baterai. Pengujian sensor tegangan ini dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan yang terbaca oleh sensor tegangan dengan nilai tegangan yang terbaca oleh alat ukur yang sudah terkalibrasi (Multimeter SANWA), dengan menggunakan catu daya sebagai sumber tegangan pengujian.

Pada grafik hasil pengujian, persamaan grafik yang dihasilkan dari proses pengujian mendekati persamaan garis $y=x$, sehingga dapat dikatakan sensor tegangan yang digunakan bekerja dengan baik.

Dari hasil pengujian juga didapatkan nilai tegangan yang dibaca oleh sensor tegangan sudah mendekati nilai tegangan yang terukur oleh multimeter SANWA. Rata-rata nilai *error* sebesar 1,43 %, Sehingga dapat dikatakan sensor tegangan yang digunakan dalam sistem *monitoring* SOC ini sudah akurat

Berikut ini merupakan grafik hasil pengujian sensor tegangan dengan nilai tegangan pengujian yang berbeda :



Gambar 4.9 Grafik pengujian sensor tegangan

Berikut ini merupakan tabel hasil pengujian sensor tegangan dengan nilai tegangan pengujian yang berbeda :

Tabel 4.2 Tabel hasil pengujian sensor tegangan

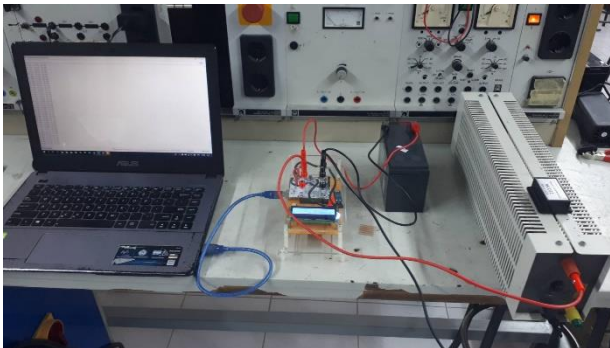
V Terukur (V) (Sensor tegangan)	V Terukur (V) (Multimeter SANWA)	Error (%)
1,07	1,17	8,54
2,09	2,17	3,68
3,03	3,11	2,57
4,00	4,08	1,96
5,03	5,09	1,17
6,00	6,05	0,82
7,04	7,09	0,70
8,07	8,13	0,73
9,04	9,09	0,55
10,02	10,05	0,29
11,09	11,10	0,09
12,07	12,08	0,08
13,05	13,04	0,07
14,07	14,06	0,07
15,06	15,05	0,06
Rata-rata error		1,43

4.4. Pengambilan data pada proses pengosongan

Dalam penentuan nilai SOC menggunakan metode *coulomb counting*, *inital* SOC merupakan parameter yang penting untuk memperoleh nilai SOC yang akurat. Oleh karena itu sebelum proses pengosongan dilakukan baterai terlebih dahulu di *charge* dengan arus *charging* tertentu sampai baterai mencapai tegangan maksimumnya (V_{oc} sekitar 13 V). Ketika baterai sudah mencapai tegangan maksimumnya, selanjutnya diasumsikan SOC baterai bernilai 100%. Selanjutnya proses pengosongan dilakukan dengan ketentuan pengambilan data sebagai berikut :

Total waktu pengisian	: 85 menit
Arus <i>discharge</i> rata-rata	: 3,08 A
Interval waktu pengambilan data	: 1 detik
Rata-rata muatan yang digunakan/detik	: 0,000855 Ah
Total muatan yang digunakan	: 4,25 Ah
<i>Initial</i> SOC	: 100%

Berikut ini merupakan gambar rangkaian pengujian pada proses pengosongan :



Gambar 4.10 Rangkaian pengujian pada proses pengosongan

Baterai yang digunakan dalam proses pengosongan ini memiliki spesifikasi sebagai berikut ini :

Manufaktur	: Baterai <i>Lead-Acid</i> LC-V127R2NA
Kapasitas Baterai	: 7,2 Ah
V Nominal baterai	: 12 volt

Internal resistance (25C) : 24 m ohm
(data *sheet* baterai selengkapnya terlampir)

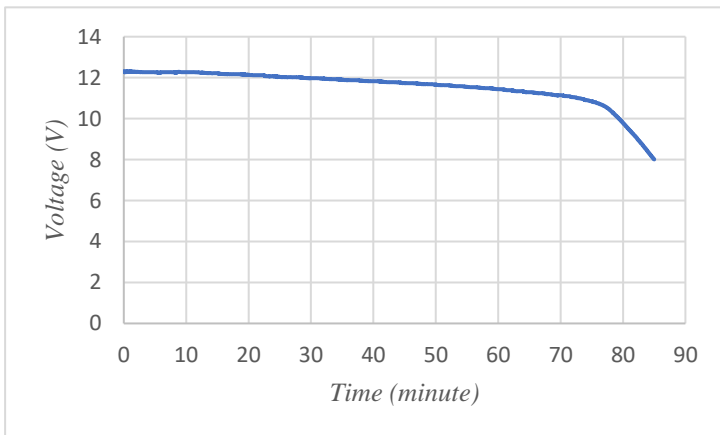


Gambar 4.11 Alat *monitoring* SOC (pengosongan)

Berikut ini merupakan grafik hasil pengujian Alat *monitoring* SOC pada proses pengosongan :

1. Grafik tegangan terhadap Waktu

Berikut ini merupakan grafik hubungan tegangan baterai dan waktu pada proses pengosongan :

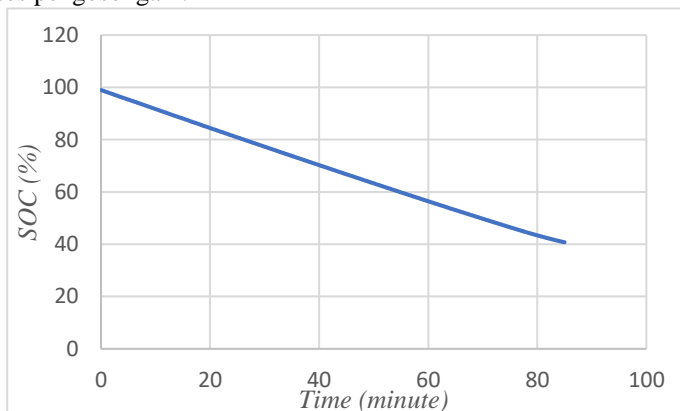


Gambar 4.12 Grafik *discharge* karakteristik (pengujian

Dari grafik *discharge* didapatkan, pada awalnya nilai tegangan baterai cenderung memiliki penurunan yang tidak terlalu signifikan, dimana nilai tegangan baterai masih dalam kisaran 11 V-12 V. Namun ketika baterai digunakan mendekati waktu 90 menit tegangan baterai cenderung mengalami penurunan yang cukup signifikan hingga mencapai 8 V. Grafik hasil pengujian ini dapat dikatakan sudah sesuai dengan kurva *dishcrage* karakteristik baterai *lead-acid* LC-V127R2NA. Berdasarkan grafik yang sudah didapatkan, baterai perlu dioperasikan pada interval waktu tertentu untuk mendapatkan nilai tegangan yang optimal, Sehingga peralatan listrik yang disuplai oleh baterai dapat bekerja dengan baik.

2. Grafik SOC terhadap waktu

Berikut ini merupakan grafik hubungan nilai SOC dan waktu pada proses pengosongan :



Gambar 4.13 Grafik hubungan SOC terhadap waktu (pengosongan)

Dari grafik yang didapatkan, dapat diketahui bahwa hubungan antara nilai SOC terhadap waktu pada siklus pengosongan adalah berbanding terbalik. Semakin lama baterai digunakan maka semakin banyak muatan yang di gunakan, sehingga SOC baterai akan semakin berkurang.

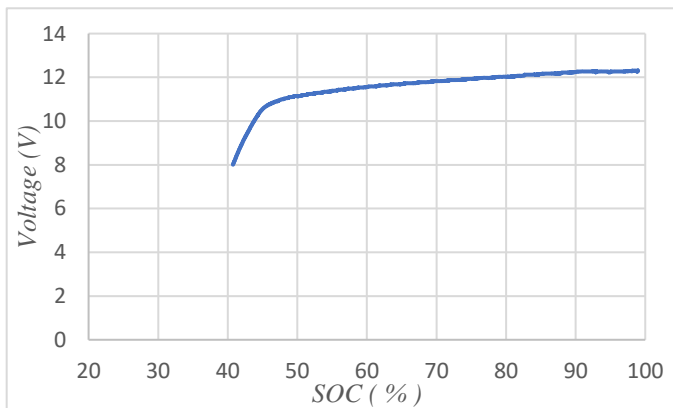
3. Grafik Tegangan dan SOC

Grafik hasil pengujian ini menunjukkan hubungan nilai tegangan baterai dengan nilai SOC baterai. Dari grafik tersebut dapat dilihat nilai

tegangan baterai cenderung memiliki penurunan nilai yang tidak terlalu signifikan, dengan nilai tegangan baterai berkisar 11V-12V yang terjadi ketika SOC baterai bernilai 60%-100%. Namun tegangan baterai akan mengalami penurunan yang cukup signifikan (hingga mencapai 8V) ketika SOC baterai berada di bawah 50%. Dari ulasan di atas, grafik tersebut dapat dijadikan acuan dalam pengoperasian baterai sebagai media penyimpanan energi. Mengingat baterai ketika dioperasikan di bawah SOC 40% akan memiliki nilai tegangan yang rendah, sehingga akan mempengaruhi kinerja dari peralatan yang ada. Selain itu pengoperasian baterai dengan DOD (*Depth of discharge*) yang terlalu besar akan mempengaruhi *lifetime* dari baterai itu sendiri. Dalam implementasinya, Semakin besar nilai DOD yang digunakan maka *lifetime* baterai akan semakin menurun.

Faktor lain yang menyebabkan terdapat penurunan tegangan hingga 8V ketika SOC baterai 40% adalah nilai arus *discharge* yang digunakan. Penggunaan arus *discharge* yang terlalu besar akan menyebabkan *available capacity* pada baterai akan semakin berkurang. Berdasarkan teori yang ada sesuai dengan persamaan peukert, dengan arus *discharge* sebesar 3,08 A maka *available capacity* yang bisa digunakan sebesar 50% dari *rated capacity* pada baterai. [13].

Berikut ini merupakan grafik hubungan nilai tegangan dan SOC baterai yang di dapatkan pada proses pengosongan :

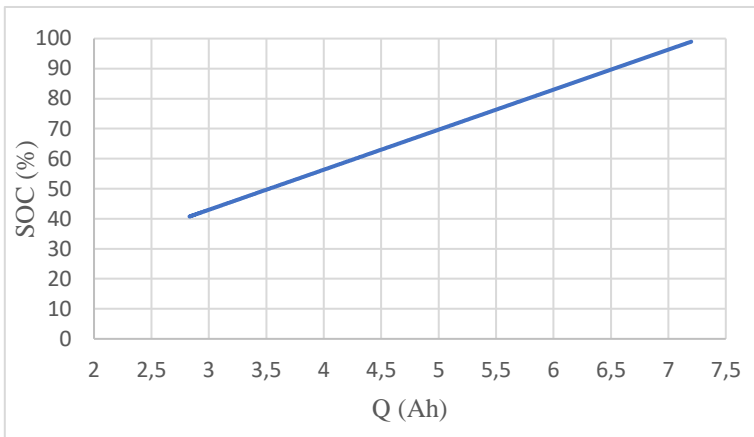


Gambar 4.14 Grafik hubungan nilai tegangan baterai dan SOC (pengosongan)

4. Grafik Jumlah muatan dan SOC baterai

Dalam proses pengosongan ini, *initial* SOC dari baterai adalah 100%, dari grafik yang dihasilkan pada proses pengosongan, semakin sedikit muatan yang ada pada baterai maka nilai SOC baterai akan semakin kecil. Sehingga hubungan antara total muatan pada baterai dengan SOC baterai adalah berbanding lurus.

Berikut ini merupakan grafik hubungan antara jumlah muatan dengan SOC baterai pada proses pengosongan :

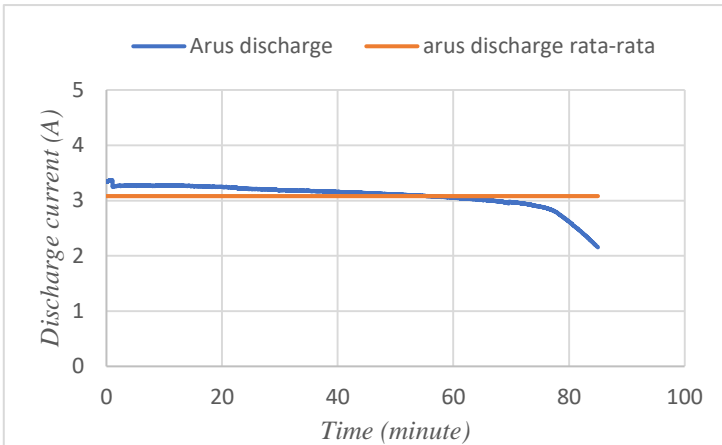


Gambar 4.15 Grafik hubungan jumlah muatan dan SOC pada (pengosongan)

5. Grafik arus pengosongan (*discharge*) baterai

Dalam pengoperasian nilai arus *discharge* baterai tidak selalu memiliki nilai yang konstan, hal ini dipengaruhi oleh nilai tegangan pada baterai. Semakin lama baterai digunakan maka tegangan baterai akan semakin kecil sehingga menyebabkan nilai arus *discharge* akan menurun dari kondisi awal. Sehingga pengoperasian baterai pada interval tegangan tertentu sangat dibutuhkan untuk menjaga nilai arus yang konstan.

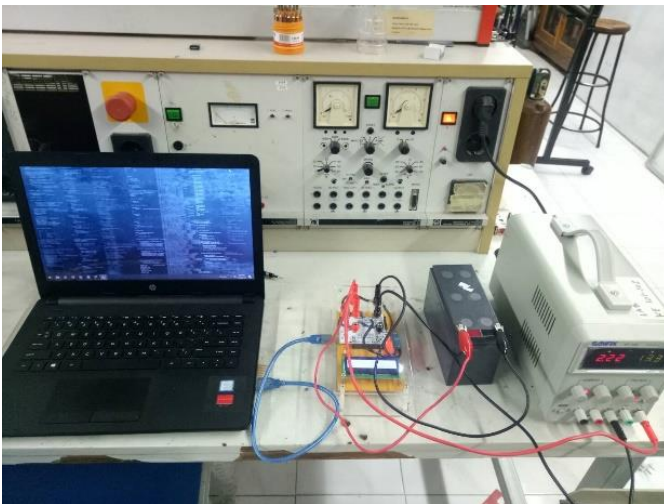
Berikut ini merupakan grafik nilai arus *discharge* selama proses pengosongan :



Gambar 4.16 *Discharge current*

4.5. Pengambilan data SOC pada proses pengisian

Berikut ini merupakan gambar rangkaian pengujian pada proses pengisian :



Gambar 4.17 Rangkaian pengujian pada proses pengisian

Pada proses pengujian ini, baterai dihubungkan dengan Supply DC dengan mode *constan current* sebesar 3,06 A. Baterai juga dihubungkan dengan alat *monitoring* SOC untuk menampilkan nilai tegangan baterai, arus baterai dan SOC baterai. Selanjutnya data nilai arus, tegangan dan SOC akan ditampilkan dan disimpan pada PC (*personal computer*) untuk dilakukan proses pengolahan data.

Baterai yang digunakan dalam proses pengisian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Manufaktur :Panasonic LC-V127R2NA
 - Kapasitas Baterai :7,2 Ah
 - V Nominal baterai :12 volt
 - *Internal resistance* (@25°C) :24 m ohm
- (data *sheet* baterai selengkapnya terlampir)

Pada proses pengisian ini *initial SOC* berasal dari proses pengosongan pada pengujian pertama, dengan *initial* SOC sebesar 40 %. Selanjutnya proses pengisian dilakukan dengan ketentuan pengambilan data sebagai berikut :

- Total waktu pengisian :85 menit
- Arus *charge* rata-rata : 3,06 A
- Interval waktu pengambilan data : 1 detik
- Rata-rata muatan setiap detik : 0,00085 Ah
- Total muatan selama proses pengisian : 4,335 Ah
- *Initial* SOC : 40 %



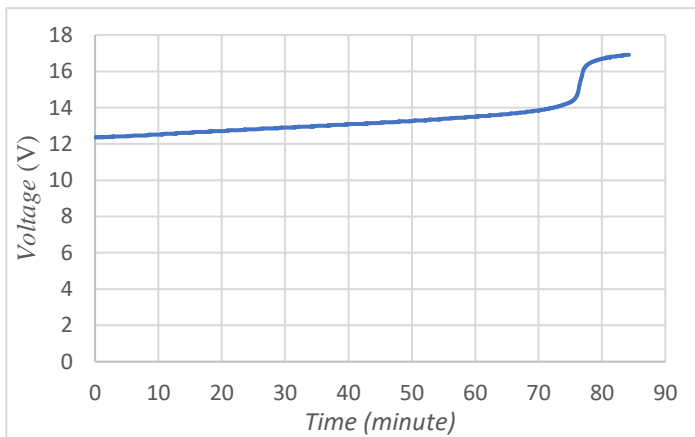
Gambar 4.18 Alat *monitoring* SOC pada proses pengisian

Berikut ini merupakan grafik hasil pengujian alat *monitoring* SOC pada proses pengosongan :

1. Grafik Tegangan Terhadap waktu

Dari proses pengisian ini didapatkan grafik tegangan baterai terhadap waktu yang ditunjukkan pada gambar 4.19. Berdasarkan grafik yang diperoleh nilai tegangan baterai saat mengalami proses pengisian (*charge*) cenderung memiliki nilai tegangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses pengosongan (*dischrage*). Selain itu karakteristik lainnya yang dapat diamati adalah tegangan baterai akan mengalami kenaikan yang tidak terlalu signifikan pada interval waktu 0-75 menit. Dengan nilai tegangan baterai 12V-14V. Namun ketika mencapai waktu lebih dari 85 menit, baterai akan mengalami kenaikan nilai tegangan yang signifikan hingga mencapai nilai tegangan 17 V.

Berikut ini merupakan grafik tegangan terhadap waktu pada proses pengisian baterai :



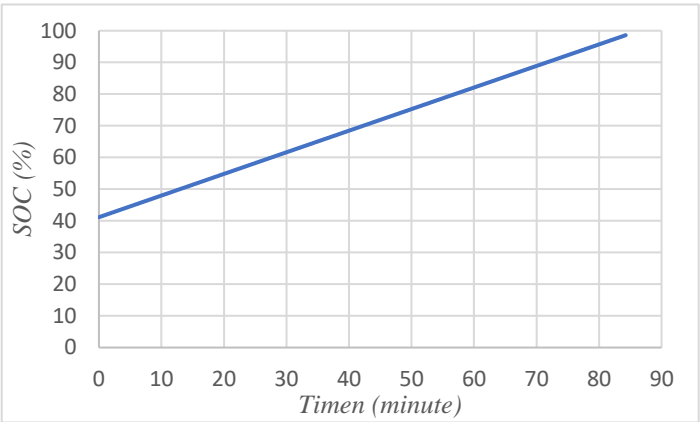
Gambar 4.19 Grafik Tegangan terhadap waktu (pengisian)

2. Grafik SOC terhadap waktu

Dari grafik yang di dapatkan, dapat diperoleh informasi bahwa hubungan nilai SOC baterai berbanding lurus terhadap lama proses pengisian pada baterai itu sendiri. Semakin lama proses pengisian

dilakukan maka nilai SOC akan semakin bertambah hingga mencapai SOC maksimal 100%.

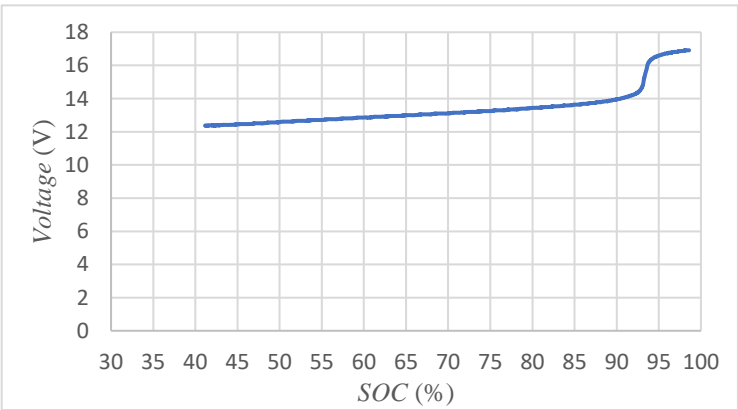
Berikut ini merupakan grafik nilai SOC baterai terhadap waktu pada proses pengisian :



Gambar 4.20 Grafik nilai SOC baterai terhadap waktu (pengisian)

3. Grafik tegangan dan SOC

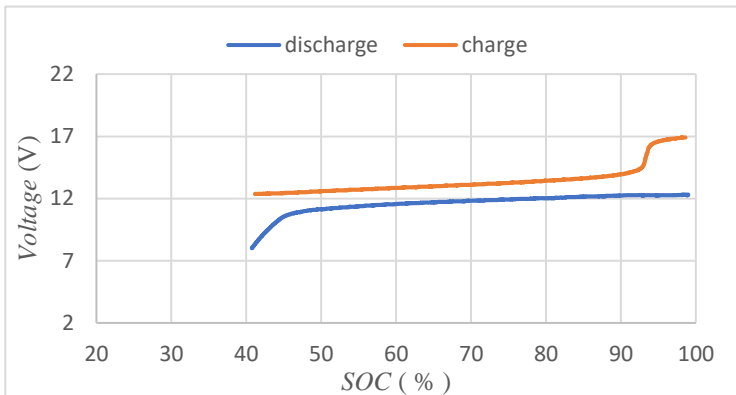
Berikut ini merupakan grafik hubungan nilai tegangan pada baterai dengan SOC baterai pada proses pengisian :



Gambar 4.21 Grafik hubungan Tegangan dan SOC (pengisian)

Berdasarkan grafik di atas, pada saat nilai SOC bernilai 40%-90% tegangan baterai cenderung mengalami kenaikan yang tidak terlalu signifikan, dengan nilai tegangan baterai 12 V-14 V. Namun ketika SOC baterai mendekati nilai 95%-100% tegangan baterai akan mengalami kenaikan yang cukup signifikan hingga mencapai 17 V. Hal ini bisa diartikan ketika kapasitas baterai mendekati 100% maka tegangan baterai akan mengalami kenaikan yang cukup signifikan hingga mencapai 17 V. Nilai tegangan baterai pada proses pengisian akan memiliki nilai tegangan yang lebih tinggi dibandingkan pada proses pengosongan. Hasil pengujian ini sudah sesuai dengan kurva tipikal baterai *lead-acid* 12 V pada umumnya.

Berikut ini merupakan perbandingan grafik SOC dan tegangan pada proses pengisian dan proses pengosongan :

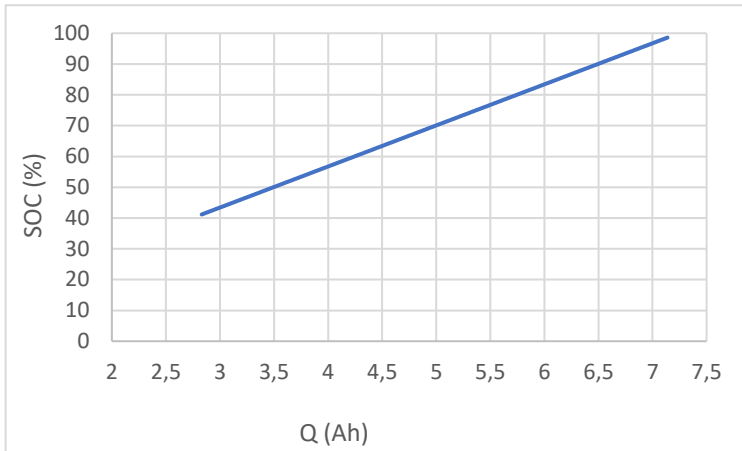


Gambar 4.22 Perbandingan grafik tegangan dan SOC pada proses pengisian dan pengosongan

4. Grafik jumlah muatan dan SOC baterai

Dalam proses pengisian ini, *initial* SOC dari baterai adalah 40%. berdasarkan grafik yang diperoleh pada proses pengisian, semakin banyak muatan yang ada pada baterai maka nilai SOC baterai akan semakin bertambah. Sehingga hubungan antara total muatan dengan SOC baterai pada proses pengisian adalah berbanding lurus

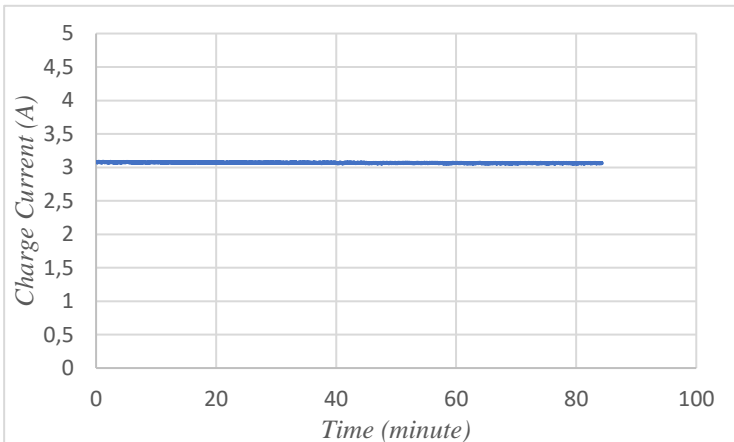
Berikut ini merupakan grafik hubungan jumlah muatan dan SOC pada proses pengisian :



Gambar 4.23 Grafik hubungan jumlah muatan dengan SOC baterai

5. Grafik Arus Pengisian (*charge*) baterai

Berikut ini merupakan grafik arus *charge* selama proses pengisian berlangsung :



Gambar 4.24 Charge Current

Pada siklus pengisian ini, nilai rata-rata arus yang diberikan sebesar 3,06 A. Dalam proses pengisian ini metode *charge* yang digunakan adalah “*constan current*”. Hal ini bertujuan untuk membandingkan grafik karakteristik baterai baik pada saat proses pengisian dan proses pengosongan dengan nilai arus yang sama / *C-rating* yang sama.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan, antara lain :

1. Penggunaan sensor arus ACS712 dalam pembuatan sistem *monitoring* SOC memiliki keakuratan yang baik.
2. Jumlah muatan pada baterai berbanding lurus dengan nilai SOC baterai itu sendiri.
3. Pada proses pengisian, tegangan baterai LC-V127R2NA akan mengalami kenaikan sampai 17 V ketika SOC baterai bernilai 95%-100%
4. Semakin besar nilai Arus *discharge* yang digunakan maka kapasitas baterai yang bisa digunakan akan semakin berkurang.
5. Dengan nilai arus *discharge* sebesar 3,08 A, jumlah kapasitas baterai yang bisa digunakan sebesar 3,83 Ah.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, saran untuk pengembangan penelitian berikutnya dengan topik serupa antara lain :

1. Melakukan pengujian tambahan untuk menentukan nilai *initial* SOC yang akurat
2. Penggunaan sensor arus yang lain dan lebih akurat dalam pembuatan sistem *monitoring* SOC ke depannya.
3. Melakukan implementasi sistem *monitoring* SOC dengan menggunakan jenis baterai yang berbeda sebagai bahan pengujian.
4. Pembuatan sistem *cut-off* otomatis dalam implementasi sistem *monitoring* SOC, baik pada saat pengisian (*charge*) dan pengosongan (*discharge*)

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Blueprint Pengelolaan Energi Nasional.” Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2006.
- [2] P.Manimekalai, R.Harikumar, and S.Raghavan, “An Overview of Batteries for Photovoltaic (PV) Systems,” *Int. J. Comput. Appl.* 0975 – 8887, vol. 82, pp. 1–5, Nov. 2013.
- [3] Ahmad Faiz Farizy, Dimas Anton Asfani, and Soedibjo, “Desain Sistem Monitoring State of Charge Baterai pada Charging Station Mobil Listrik Berbasis Fuzzy Logic Dengan Mempertimbangkan Temperature,” *Institut Teknol. Sepuluh Nop.*, vol. 5, pp. 1–5, 2016.
- [4] S. M. A. S. Bukhari, J. Maqsood, M. Q. Baig, S. Ashraf, and T. A. Khan, “Comparison of Characteristics -- Lead Acid, Nickel Based, Lead Crystal and Lithium Based Batteries,” 2015, pp. 444–450.
- [5] G. M. Masters, *Renewable and efficient electric power systems*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2004.
- [6] V. Quaschnig, *Understanding renewable energy systems*. London ; Sterling, VA: Earthscan, 2005.
- [7] Asep Nugroho and Estiko Rijanto, “Simulasi Optimasi Pengukuran State of Charge Baterai dengan Integral Observer,” *Pus. Tenaga List. Dan Mekatronik LIPI*, vol. 17, pp. 323–333, Dec. 2013.
- [8] G. Fathoni, S. A. Widayat, P. A. Topan, A. Jalil, A. I. Cahyadi, and O. Wahyunggoro, “Comparison of State-of-Charge (SOC) estimation performance based on three popular methods: Coulomb counting, open circuit voltage, and Kalman filter,” 2017, pp. 70–74.
- [9] Septimiu Mischie and Liviu Toma, “Behavior of the Lead Acid Battery after the Rest Period,” *WSEAS Trans. POWER Syst.*, vol. 3, no. 3, pp. 111–117, Mar. 2008.
- [10] Alessandro Mariani, Thomas Stockley, Kary Thanapalan, and Jonathan Williams, “Simple and Effective OCV Prediction Mechanism for VRLA Battery Systems,” presented at the International Conference on Mechanical Engineering and Mechatronics, Prague, Czech Republic, 2014, pp. 1–10.
- [11] A. Purwadi, A. Rizqiawan, A. Kevin, and N. Heryana, “State of Charge estimation method for lithium battery using combination of Coulomb Counting and Adaptive System with considering the effect of temperature,” 2014, pp. 91–95.

- [12] O. Tremblay, L.-A. Dessaint, and A.-I. Dekkiche, “A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles,” 2007, pp. 284–289.
- [13] A. R. Utomo, F. Husnayain, and P. S. Priambodo, “Analysis of Lead Acid battery operation based on Peukert formula,” 2014, pp. 345–348.
- [14] Data *Sheet* Baterai *Leac-Acid* LC-V127R2NA.

LAMPIRAN

1. Data sheet baterai *Lead-Acid* LC-V127R2NA

Panasonic
ideas for life

LC-V127R2

For standby power supplies
Expected trickle life: 3 years at 25°C
5 years at 20°C



※Contents indicated (including the recycle marking, etc) are subject to change without notice.

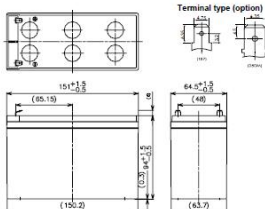
■ Specification

Nominal Voltage		12V
Rated Capacity(20HR)		7.2Ah
Dimensions	Length	151 mm
	Width	64.5 mm
	Height	94 mm
	Total height	100 mm
Approx. Mass		2.30 kg
Terminal		Faston 187 & 250M

■ Characteristics

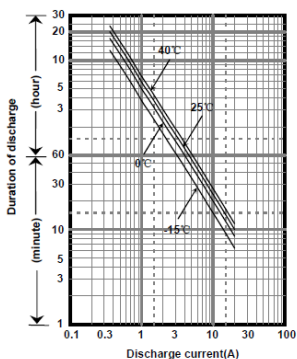
Capacity (25 °C)	20 hour rate	7.2Ah
	10 hour rate	6.5Ah
	3 hour rate	5.8Ah
	1 hour rate	4.9Ah
Internal Resistance (25 °C)	Fully charged battery	24 mΩ
Temperature Dependency of Capacity (20 hour rate)	40 °C	102%
	25 °C	100%
	0 °C	85%
	-15 °C	65%
Self Discharge (25 °C)	After 3 months	91%
	After 6 months	82%
	After 12 months	64%

■ Dimensions(mm)



Battery case resin: Flame-retardant (UL94V-0)

■ Duration of discharge vs. discharge current



■ Watt Table(25°C)

Cut-off V	3min	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	1.5h	2h	3h	4h	5h	6h	10h	20h
9.6V	430	335	220	167	134	98.4	72.1	56.5	44.6	34.7	24.7	19.2	15.4	12.8	8.39	4.60
9.9V	405	287	187	157	130	96.4	71.6	55.1	43.7	34.4	24.5	19.1	15.3	12.5	8.35	4.59
10.2V	379	273	182	151	126	94.3	68.6	53.6	41.4	32.5	23.5	18.7	14.6	12.2	8.00	4.43
10.5V	343	248	174	144	120	90.8	66.8	52.4	39.8	31.5	23.0	18.3	14.5	12.1	7.96	4.42
10.8V	308	223	164	138	115	87.2	62.6	48.4	37.2	28.1	21.4	16.9	13.3	11.2	7.41	4.13

■ Ampere Table(25°C)

Cut-off V	3min	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	1.5h	2h	3h	4h	5h	6h	10h	20h
9.6V	38.9	30.9	19.9	14.8	12.3	9.10	6.40	5.10	3.50	2.70	2.00	1.53	1.26	1.02	0.670	0.363
9.9V	36.1	28.6	19.5	14.7	12.1	9.00	6.36	5.05	3.43	2.68	1.99	1.52	1.25	1.01	0.667	0.362
10.2V	34.2	26.9	19.0	14.4	11.9	8.90	6.30	5.00	3.36	2.61	1.97	1.51	1.24	1.00	0.660	0.361
10.5V	31.4	24.1	17.6	13.3	11.3	8.70	6.20	4.90	3.29	2.52	1.94	1.50	1.23	0.988	0.657	0.360
10.8V	29.0	22.3	15.7	12.5	11.0	8.40	6.10	4.80	3.20	2.40	1.90	1.48	1.20	0.972	0.650	0.358

All mentioned values are average values

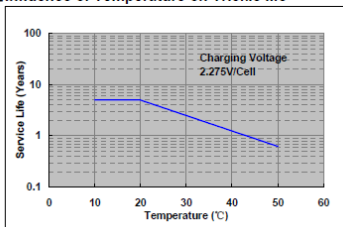
■ Charging Method (25°C)

Trickle use	Control voltage:13.6-13.8V Initial current:1.08A or smaller
-------------	--

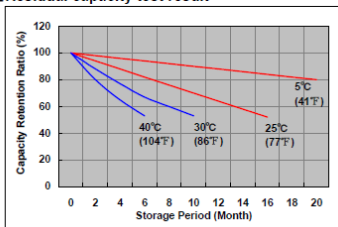
■ Cut off voltage

Discharge current	0.360A 1.44A	1.44A 3.60A	3.60A 7.20A	7.20A 14.4A	14.4A 21.6A
Cut off voltage(V)	10.5	10.2	9.9	9.3	8.7

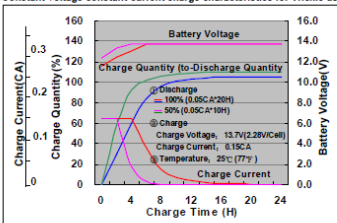
■ Influence of Temperature on Trickle life



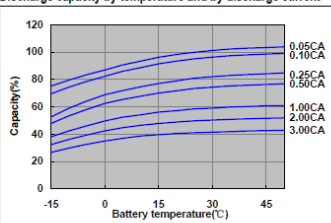
■ Residual capacity test result



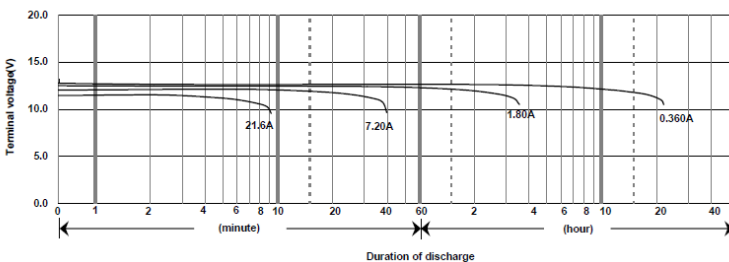
■ Constant-voltage constant-current charge characteristics for Trickle use



■ Discharge capacity by temperature and by discharge current



■ Discharge characteristics(25°C)



⚠ Caution

Due to the potential energy stored in the batteries, Please read (Precautions for handling the Rechargeable Valve Regulated Lead Acid Batteries) before using batteries. If improper handling or use of the batteries without understanding (Precautions for handling the Rechargeable Valve Regulated Lead Acid Batteries) may result in bodily injury caused by electrolyte leakage, heat generation, or explosion.

Panasonic Storage Battery (Shenyang) Co., Ltd

NO. 51 Kunminghu Street, Shenyang Economic & Technical Development Zone, 110141 China
Tel: 86 24 25818921
Fax: 86 24 62786318
Website: <http://www.panasonicbattery.cn>

2010.11

2. Data pengujian pada proses pengosongan :

Pada proses pengosongan pengambilan data pengujian dilakukan setiap detik, namun untuk data hasil pengujian yang dilampirkan setiap 10 detik. Berikut ini merupakan data pengujian pada proses pengosongan. :

Suhu ruangan 25°C			Jumlah muatan baterai mula-mula : 7,2 Ah	
Waktu (detik)	Tegangan (V)	Arus Dischrage (A)	SOC (%)	Muatan pada baterai (Q) (Ah)
1	12,307	3,344	98,975	7,199071111
10	12,27	3,344	98,864	7,190707778
20	12,298	3,358	98,74	7,181401111
30	12,298	3,362	98,615	7,172068889
40	12,299	3,366	98,491	7,162722222
50	12,297	3,366	98,366	7,153370278
60	12,294	3,36	98,241	7,144019167
70	12,277	3,26	98,12	7,134882222
80	12,282	3,258	97,999	7,125830278
90	12,287	3,26	97,878	7,116779722
100	12,288	3,262	97,758	7,107719444
120	12,282	3,264	97,516	7,089589167
130	12,281	3,266	97,395	7,080518889
140	12,279	3,268	97,274	7,071444167
150	12,274	3,265	97,153	7,062374722
160	12,272	3,266	97,032	7,053305
170	12,271	3,267	96,911	7,044233611
180	12,269	3,266	96,79	7,035159722
190	12,269	3,269	96,669	7,026082778
200	12,268	3,267	96,548	7,017001944
210	12,268	3,272	96,427	7,007920833

220	12,268	3,27	96,306	6,998834167
230	12,268	3,264	96,185	6,989752222
240	12,268	3,27	96,064	6,980673611
250	12,268	3,265	95,943	6,971595833
260	12,268	3,269	95,821	6,962515278
270	12,268	3,271	95,7	6,9534325
280	12,268	3,269	95,579	6,944351667
290	12,267	3,27	95,458	6,935268611
300	12,266	3,269	95,337	6,926185
310	12,265	3,266	95,216	6,917104444
320	12,262	3,267	95,095	6,908029722
330	12,258	3,268	94,974	6,898949722
340	12,228	3,267	94,853	6,889877222
350	12,235	3,27	94,732	6,880796111
360	12,268	3,271	94,611	6,871713889
370	12,268	3,267	94,49	6,862639167
380	12,268	3,269	94,369	6,853558889
390	12,268	3,269	94,247	6,8444725
400	12,268	3,272	94,126	6,835386389
410	12,268	3,269	94,005	6,826308611
420	12,268	3,267	93,884	6,817233333
430	12,268	3,265	93,763	6,808157222
440	12,268	3,27	93,642	6,79908
450	12,267	3,267	93,521	6,790004444
460	12,266	3,271	93,4	6,780921944
470	12,265	3,269	93,279	6,771841667
480	12,263	3,263	93,158	6,762775278
490	12,255	3,263	93,037	6,753704444
500	12,255	3,268	92,916	6,744631944

510	12,258	3,265	92,795	6,735565278
520	12,278	3,274	92,674	6,726478333
530	12,282	3,277	92,553	6,717378611
540	12,279	3,279	92,431	6,708277222
550	12,269	3,271	92,31	6,699179444
560	12,268	3,274	92,189	6,6900875
570	12,268	3,274	92,068	6,680994444
580	12,268	3,271	91,947	6,671906667
590	12,268	3,273	91,825	6,662820278
600	12,268	3,274	91,704	6,653725833
610	12,268	3,277	91,583	6,644625556
620	12,268	3,277	91,461	6,635523056
630	12,268	3,275	91,34	6,626427222
640	12,268	3,274	91,219	6,617333333
650	12,268	3,274	91,098	6,60824
660	12,268	3,274	90,976	6,599145833
670	12,267	3,272	90,855	6,590051111
680	12,266	3,275	90,734	6,580959722
690	12,265	3,275	90,613	6,571864444
700	12,263	3,272	90,491	6,562770278
710	12,26	3,268	90,37	6,553690278
720	12,256	3,271	90,249	6,544606944
730	12,252	3,274	90,128	6,535516111
740	12,237	3,27	90,007	6,526426944
750	12,239	3,272	89,886	6,517343889
760	12,23	3,271	89,765	6,508259167
770	12,238	3,269	89,644	6,499175833
780	12,228	3,269	89,522	6,490096111
790	12,228	3,268	89,401	6,481019722

800	12,224	3,265	89,28	6,471945833
810	12,22	3,267	89,159	6,462871111
820	12,22	3,264	89,039	6,453799722
830	12,221	3,264	88,918	6,444733333
840	12,22	3,265	88,797	6,435664444
850	12,22	3,266	88,676	6,426596944
860	12,219	3,266	88,555	6,417522222
870	12,219	3,263	88,434	6,40845
880	12,219	3,264	88,313	6,399390556
890	12,219	3,262	88,192	6,390325278
900	12,219	3,261	88,071	6,381260833
910	12,191	3,256	87,951	6,372206389
920	12,183	3,258	87,83	6,363153333
930	12,182	3,26	87,709	6,354100833
940	12,182	3,26	87,588	6,345044167
950	12,178	3,259	87,468	6,335991667
960	12,175	3,258	87,347	6,326938056
970	12,173	3,26	87,226	6,317886389
980	12,172	3,257	87,106	6,308835278
990	12,176	3,258	86,985	6,299786944
1000	12,173	3,258	86,864	6,290736944
1010	12,172	3,255	86,744	6,281689722
1020	12,171	3,256	86,623	6,272642222
1030	12,171	3,253	86,503	6,263600833
1040	12,17	3,257	86,382	6,254556111
1050	12,17	3,258	86,261	6,245512778
1060	12,17	3,253	86,141	6,236472778
1070	12,17	3,253	86,02	6,227437222
1080	12,17	3,253	85,9	6,218404444

1090	12,17	3,25	85,78	6,209381667
1100	12,169	3,245	85,659	6,200355
1110	12,168	3,25	85,539	6,191327778
1120	12,167	3,249	85,419	6,182303889
1130	12,165	3,247	85,298	6,173285
1140	12,157	3,245	85,178	6,164266667
1150	12,158	3,248	85,058	6,155247778
1160	12,152	3,247	84,938	6,146231389
1170	12,141	3,247	84,817	6,137210833
1180	12,133	3,25	84,697	6,128187222
1190	12,139	3,248	84,577	6,119164722
1200	12,128	3,247	84,456	6,110144722
1210	12,132	3,243	84,336	6,101129167
1220	12,13	3,246	84,216	6,092115833
1230	12,128	3,245	84,096	6,083108056
1240	12,122	3,248	83,976	6,074092222
1250	12,121	3,245	83,855	6,065074444
1260	12,121	3,24	83,736	6,056074167
1270	12,121	3,241	83,615	6,047071111
1280	12,121	3,241	83,495	6,038071389
1290	12,121	3,236	83,376	6,029079167
1300	12,121	3,235	83,256	6,020087222
1310	12,121	3,234	83,136	6,011101389
1320	12,121	3,237	83,016	6,002110556
1330	12,121	3,236	82,896	5,993119722
1340	12,121	3,237	82,776	5,984132222
1350	12,112	3,234	82,657	5,975145278
1360	12,072	3,223	82,537	5,966176111
1370	12,072	3,224	82,418	5,957221667

1380	12,072	3,22	82,298	5,948275556
1390	12,072	3,222	82,179	5,939325833
1400	12,062	3,217	82,06	5,930379722
1410	12,07	3,215	81,941	5,921445
1420	12,071	3,218	81,821	5,912508333
1430	12,068	3,219	81,702	5,903565833
1440	12,066	3,222	81,583	5,8946225
1450	12,064	3,215	81,464	5,885685556
1460	12,056	3,216	81,345	5,876751111
1470	12,053	3,21	81,226	5,867827222
1480	12,047	3,213	81,107	5,8589075
1490	12,033	3,207	80,988	5,849992222
1500	12,039	3,212	80,869	5,841073889
1510	12,03	3,208	80,75	5,832159167
1520	12,028	3,211	80,631	5,823245
1530	12,028	3,207	80,512	5,814329444
1540	12,028	3,208	80,394	5,805416944
1550	12,024	3,21	80,275	5,796504722
1560	12,026	3,208	80,156	5,787588056
1570	12,026	3,209	80,037	5,778675833
1580	12,024	3,206	79,918	5,769767778
1590	12,024	3,209	79,799	5,760855556
1600	12,024	3,206	79,681	5,7519475
1610	12,023	3,203	79,562	5,743043889
1620	12,023	3,204	79,443	5,7341425
1630	12,023	3,204	79,325	5,725242222
1640	12,023	3,206	79,206	5,7163425
1650	12,023	3,206	79,087	5,707436667
1660	12,023	3,199	78,969	5,698535278

1670	12,019	3,203	78,85	5,689641944
1680	12,014	3,2	78,731	5,680749722
1690	12,015	3,198	78,613	5,67186
1700	12,01	3,201	78,494	5,662973056
1710	12,004	3,198	78,376	5,654085833
1720	12,003	3,198	78,257	5,645199722
1730	11,987	3,196	78,139	5,636323889
1740	11,98	3,197	78,021	5,627441111
1750	11,981	3,197	77,902	5,618559167
1760	11,979	3,199	77,784	5,609674444
1770	11,977	3,191	77,665	5,600800278
1780	11,975	3,189	77,547	5,591935833
1790	11,975	3,188	77,429	5,583079167
1800	11,975	3,191	77,311	5,574225833
1810	11,975	3,185	77,193	5,56537
1820	11,975	3,187	77,075	5,556515278
1830	11,975	3,185	76,957	5,547659167
1840	11,975	3,188	76,839	5,538808611
1850	11,974	3,189	76,721	5,529955278
1860	11,974	3,183	76,603	5,521102778
1870	11,974	3,187	76,485	5,512253333
1880	11,97	3,187	76,367	5,503401944
1890	11,967	3,185	76,249	5,494551944
1900	11,964	3,186	76,131	5,4857025
1910	11,959	3,187	76,013	5,476851111
1920	11,953	3,185	75,895	5,468002222
1930	11,95	3,185	75,777	5,459156944
1940	11,945	3,184	75,659	5,450312778
1950	11,939	3,185	75,541	5,441466389

1960	11,937	3,182	75,423	5,432628889
1970	11,93	3,184	75,305	5,4237875
1980	11,931	3,182	75,187	5,414947778
1990	11,929	3,184	75,07	5,406106111
2000	11,926	3,182	74,952	5,397267222
2010	11,926	3,18	74,834	5,388427778
2020	11,926	3,18	74,716	5,379595
2030	11,926	3,182	74,598	5,370759444
2040	11,926	3,181	74,48	5,361922222
2050	11,926	3,177	74,363	5,3530875
2060	11,911	3,179	74,245	5,3442625
2070	11,909	3,178	74,127	5,335433611
2080	11,905	3,177	74,01	5,326608056
2090	11,9	3,177	73,892	5,317783056
2100	11,893	3,176	73,774	5,308962222
2110	11,893	3,173	73,657	5,3001425
2120	11,879	3,173	73,539	5,291326111
2130	11,885	3,172	73,422	5,282519722
2140	11,877	3,17	73,304	5,273710833
2150	11,88	3,172	73,187	5,264898889
2160	11,877	3,172	73,069	5,256084167
2170	11,878	3,171	72,952	5,247275556
2180	11,878	3,169	72,834	5,238466944
2190	11,877	3,168	72,717	5,229662778
2200	11,877	3,17	72,6	5,220857778
2210	11,877	3,169	72,482	5,2120525
2220	11,877	3,17	72,365	5,203247222
2230	11,877	3,168	72,247	5,194444444
2240	11,876	3,168	72,13	5,185648056

2250	11,873	3,167	72,013	5,176850278
2260	11,868	3,167	71,896	5,1680525
2270	11,864	3,164	71,778	5,159257222
2280	11,856	3,162	71,661	5,150473056
2290	11,848	3,164	71,544	5,141684722
2300	11,844	3,163	71,427	5,132898333
2310	11,836	3,163	71,31	5,124112778
2320	11,832	3,161	71,193	5,11533
2330	11,83	3,163	71,076	5,10655
2340	11,833	3,162	70,958	5,097768333
2350	11,831	3,16	70,841	5,088989722
2360	11,831	3,158	70,724	5,080213056
2370	11,828	3,159	70,607	5,071438333
2380	11,828	3,158	70,49	5,062663611
2390	11,828	3,157	70,373	5,0538925
2400	11,828	3,158	70,257	5,045123889
2410	11,828	3,156	70,14	5,036354444
2420	11,828	3,156	70,023	5,027585278
2430	11,828	3,154	69,906	5,018823611
2440	11,826	3,151	69,789	5,010065278
2450	11,825	3,152	69,672	5,001310833
2460	11,819	3,152	69,556	4,992557222
2470	11,805	3,15	69,439	4,983803333
2480	11,808	3,152	69,322	4,975050556
2490	11,799	3,15	69,206	4,966299167
2500	11,79	3,15	69,089	4,957549444
2510	11,783	3,148	68,972	4,948800278
2520	11,784	3,146	68,856	4,940057222
2530	11,78	3,146	68,739	4,931323056

2540	11,779	3,146	68,623	4,922584444
2550	11,779	3,143	68,506	4,913846667
2560	11,779	3,144	68,39	4,905110278
2570	11,779	3,142	68,273	4,896376944
2580	11,779	3,144	68,157	4,887645833
2590	11,779	3,142	68,041	4,878918056
2600	11,778	3,141	67,924	4,870191944
2610	11,778	3,141	67,808	4,861462778
2620	11,776	3,138	67,691	4,852739722
2630	11,772	3,139	67,575	4,844018611
2640	11,765	3,142	67,459	4,835295278
2650	11,76	3,138	67,343	4,826571944
2660	11,749	3,138	67,226	4,817853333
2670	11,748	3,138	67,11	4,809137222
2680	11,735	3,137	66,994	4,800424444
2690	11,736	3,134	66,878	4,791715
2700	11,734	3,135	66,762	4,783007222
2710	11,733	3,133	66,646	4,7743025
2720	11,731	3,134	66,53	4,7656
2730	11,731	3,13	66,414	4,7569025
2740	11,73	3,131	66,298	4,748204722
2750	11,73	3,129	66,182	4,739510833
2760	11,73	3,128	66,066	4,730825
2770	11,73	3,128	65,95	4,722136944
2780	11,73	3,129	65,834	4,713448056
2790	11,729	3,129	65,718	4,704755833
2800	11,724	3,126	65,603	4,696066389
2810	11,72	3,127	65,487	4,687384167
2820	11,715	3,127	65,371	4,678700278

2830	11,708	3,124	65,255	4,670018889
2840	11,693	3,124	65,14	4,661341667
2850	11,691	3,123	65,024	4,652666111
2860	11,693	3,122	64,908	4,643991944
2870	11,687	3,118	64,793	4,635322778
2880	11,686	3,12	64,677	4,626659167
2890	11,683	3,12	64,562	4,617992778
2900	11,682	3,12	64,446	4,609328611
2910	11,681	3,119	64,331	4,600664167
2920	11,681	3,116	64,215	4,592005278
2930	11,681	3,115	64,1	4,583353056
2940	11,681	3,116	63,984	4,574699722
2950	11,68	3,114	63,869	4,566044444
2960	11,68	3,112	63,754	4,557399722
2970	11,676	3,111	63,638	4,548754722
2980	11,669	3,109	63,523	4,540113611
2990	11,664	3,111	63,408	4,531470278
3000	11,659	3,106	63,293	4,522831667
3010	11,65	3,107	63,178	4,514199722
3020	11,645	3,109	63,063	4,505563333
3030	11,634	3,106	62,947	4,496930833
3040	11,636	3,107	62,832	4,4883025
3050	11,635	3,107	62,717	4,479674167
3060	11,632	3,105	62,602	4,471049167
3070	11,633	3,104	62,487	4,462424444
3080	11,633	3,105	62,372	4,453803056
3090	11,632	3,103	62,257	4,445183889
3100	11,632	3,103	62,143	4,436566111
3110	11,631	3,102	62,028	4,427949167

3120	11,629	3,1	61,913	4,419336111
3130	11,62	3,099	61,798	4,410724444
3140	11,615	3,099	61,683	4,402116667
3150	11,61	3,097	61,569	4,393513611
3160	11,597	3,097	61,454	4,384913056
3170	11,592	3,095	61,339	4,376316667
3180	11,589	3,093	61,225	4,3677225
3190	11,586	3,092	61,11	4,359133611
3200	11,584	3,088	60,996	4,350544722
3210	11,584	3,092	60,881	4,341957778
3220	11,584	3,092	60,767	4,333368889
3230	11,583	3,092	60,652	4,324781944
3240	11,584	3,09	60,538	4,316198333
3250	11,583	3,085	60,423	4,30762
3260	11,579	3,087	60,309	4,299048056
3270	11,573	3,088	60,195	4,290475556
3280	11,565	3,085	60,08	4,281901111
3290	11,554	3,084	59,966	4,273331111
3300	11,552	3,084	59,852	4,264761111
3310	11,544	3,083	59,738	4,256194444
3320	11,541	3,082	59,624	4,2476325
3330	11,538	3,082	59,509	4,239075
3340	11,535	3,079	59,395	4,230515833
3350	11,535	3,078	59,281	4,221962222
3360	11,535	3,08	59,167	4,213408611
3370	11,535	3,079	59,053	4,204855
3380	11,535	3,077	58,939	4,196306111
3390	11,533	3,074	58,825	4,187765278
3400	11,529	3,072	58,711	4,179223611

3410	11,522	3,073	58,598	4,170684444
3420	11,509	3,073	58,484	4,162148333
3430	11,507	3,073	58,37	4,153613333
3440	11,5	3,071	58,256	4,1450775
3450	11,494	3,068	58,142	4,136549444
3460	11,488	3,067	58,029	4,128028333
3470	11,487	3,067	57,915	4,119508333
3480	11,486	3,066	57,802	4,110993056
3490	11,486	3,066	57,688	4,102475278
3500	11,486	3,065	57,575	4,0939575
3510	11,486	3,065	57,461	4,085443611
3520	11,483	3,064	57,348	4,076933333
3530	11,481	3,062	57,234	4,068424722
3540	11,467	3,063	57,121	4,059919167
3550	11,457	3,059	57,007	4,051419444
3560	11,449	3,058	56,894	4,0429225
3570	11,447	3,059	56,781	4,034427222
3580	11,442	3,057	56,668	4,025934444
3590	11,437	3,055	56,555	4,017448333
3600	11,437	3,054	56,441	4,008962222
3610	11,437	3,053	56,328	4,0004825
3620	11,437	3,049	56,215	3,992008333
3630	11,436	3,05	56,102	3,983538056
3640	11,435	3,049	55,989	3,975066944
3650	11,43	3,046	55,877	3,966605278
3660	11,405	3,046	55,764	3,958141944
3670	11,396	3,043	55,651	3,949686389
3680	11,39	3,036	55,539	3,941248611
3690	11,389	3,038	55,426	3,932805556

3700	11,388	3,039	55,313	3,924367222
3710	11,388	3,038	55,201	3,9159275
3720	11,388	3,038	55,088	3,90749
3730	11,386	3,036	54,976	3,899055556
3740	11,367	3,03	54,864	3,890633333
3750	11,36	3,03	54,751	3,882212778
3760	11,343	3,033	54,639	3,87379
3770	11,341	3,033	54,527	3,865369722
3780	11,342	3,029	54,415	3,856951944
3790	11,339	3,027	54,302	3,848540833
3800	11,339	3,027	54,19	3,840134444
3810	11,339	3,026	54,078	3,8317275
3820	11,339	3,025	53,966	3,823328333
3830	11,335	3,024	53,854	3,814926944
3840	11,331	3,021	53,742	3,806528889
3850	11,304	3,019	53,631	3,798140278
3860	11,299	3,017	53,519	3,789766944
3870	11,293	3,017	53,407	3,781386667
3880	11,291	3,014	53,296	3,7730175
3890	11,291	3,015	53,184	3,764646389
3900	11,29	3,012	53,072	3,756276389
3910	11,29	3,008	52,961	3,74792
3920	11,288	3,01	52,85	3,739562222
3930	11,284	3,008	52,738	3,7312
3940	11,275	3,008	52,627	3,722844444
3950	11,263	3,008	52,515	3,714489444
3960	11,252	2,999	52,404	3,706148611
3970	11,25	3,002	52,293	3,697807778
3980	11,245	2,997	52,182	3,689479167

3990	11,242	3,001	52,071	3,6811525
4000	11,241	2,996	51,96	3,6728275
4010	11,241	2,994	51,849	3,664505
4020	11,241	2,995	51,738	3,6561875
4030	11,234	2,995	51,627	3,647868889
4040	11,225	2,991	51,516	3,639556667
4050	11,211	2,988	51,405	3,631249444
4060	11,193	2,984	51,295	3,622951111
4070	11,193	2,984	51,184	3,614660278
4080	11,193	2,982	51,074	3,606374167
4090	11,192	2,979	50,963	3,598095556
4100	11,19	2,982	50,853	3,589815833
4110	11,18	2,98	50,743	3,581537778
4120	11,171	2,972	50,632	3,573267222
4130	11,158	2,97	50,522	3,565019722
4140	11,151	2,967	50,413	3,556774167
4150	11,145	2,969	50,303	3,548536667
4160	11,144	2,968	50,193	3,540298056
4170	11,143	2,967	50,083	3,532058056
4180	11,148	2,977	49,973	3,523813611
4190	11,144	2,972	49,863	3,515550833
4200	11,144	2,97	49,753	3,507291944
4210	11,143	2,971	49,643	3,499042222
4220	11,134	2,97	49,533	3,490797222
4230	11,111	2,962	49,423	3,482563056
4240	11,099	2,96	49,313	3,474336667
4250	11,098	2,959	49,204	3,466112778
4260	11,095	2,958	49,094	3,457891667
4270	11,095	2,961	48,984	3,449667778

4280	11,092	2,957	48,875	3,441451389
4290	11,077	2,954	48,765	3,433241111
4300	11,064	2,952	48,656	3,425041111
4310	11,051	2,946	48,547	3,416845
4320	11,047	2,948	48,438	3,408656389
4330	11,046	2,945	48,329	3,400475556
4340	11,039	2,94	48,22	3,392300556
4350	11,026	2,94	48,111	3,384130556
4360	11,004	2,938	48,002	3,375966667
4370	10,997	2,934	47,893	3,367811389
4380	10,997	2,933	47,785	3,359666111
4390	10,991	2,928	47,676	3,351525
4400	10,97	2,93	47,568	3,343391111
4410	10,953	2,924	47,459	3,3352625
4420	10,947	2,914	47,351	3,327154444
4430	10,919	2,914	47,243	3,319060833
4440	10,905	2,91	47,135	3,310976389
4450	10,899	2,907	47,028	3,302896667
4460	10,899	2,903	46,92	3,294831111
4470	10,887	2,896	46,813	3,286774722
4480	10,862	2,897	46,705	3,278727222
4490	10,851	2,897	46,598	3,270681389
4500	10,85	2,891	46,491	3,262651111
4510	10,826	2,888	46,384	3,254626667
4520	10,803	2,882	46,277	3,246610833
4530	10,802	2,876	46,171	3,238608333
4540	10,779	2,875	46,064	3,230616111
4550	10,756	2,87	45,958	3,222641111
4560	10,753	2,866	45,852	3,214673889

4570	10,727	2,86	45,746	3,206718889
4580	10,704	2,857	45,64	3,198776667
4590	10,695	2,849	45,534	3,190855278
4600	10,657	2,843	45,429	3,182950278
4610	10,649	2,838	45,324	3,175061111
4620	10,606	2,833	45,219	3,167185278
4630	10,584	2,825	45,114	3,159328611
4640	10,557	2,818	45,009	3,151497222
4650	10,509	2,806	44,905	3,143691111
4660	10,478	2,799	44,802	3,135909167
4670	10,45	2,788	44,698	3,128149722
4680	10,407	2,78	44,595	3,120418611
4690	10,359	2,763	44,493	3,112726667
4700	10,312	2,747	44,391	3,105078611
4710	10,259	2,737	44,289	3,097464167
4720	10,214	2,726	44,188	3,089881111
4730	10,166	2,714	44,088	3,082330278
4740	10,116	2,699	43,987	3,074814722
4750	10,067	2,685	43,888	3,067337222
4760	10,015	2,672	43,789	3,0599
4770	9,962	2,657	43,69	3,052493333
4780	9,899	2,645	43,592	3,045134167
4790	9,844	2,634	43,494	3,037808056
4800	9,785	2,619	43,397	3,030514722
4810	9,728	2,605	43,3	3,023262778
4820	9,678	2,589	43,204	3,016050278
4830	9,628	2,578	43,109	3,008874444
4840	9,573	2,56	43,014	3,001738889
4850	9,515	2,541	42,919	2,994664167

4860	9,451	2,531	42,826	2,987622222
4870	9,391	2,517	42,732	2,980611389
4880	9,337	2,503	42,639	2,973648611
4890	9,286	2,491	42,547	2,966715278
4900	9,238	2,475	42,455	2,959820556
4910	9,188	2,459	42,364	2,952973333
4920	9,136	2,444	42,273	2,946163611
4930	9,071	2,432	42,183	2,939393333
4940	8,994	2,411	42,093	2,932673889
4950	8,944	2,397	42,004	2,925996667
4960	8,893	2,383	41,916	2,919359722
4970	8,822	2,369	41,828	2,912759722
4980	8,752	2,356	41,741	2,9062025
4990	8,7	2,336	41,654	2,899686944
5000	8,649	2,32	41,568	2,893219444
5010	8,569	2,304	41,482	2,886796944
5020	8,504	2,287	41,397	2,880424722
5030	8,455	2,27	41,313	2,874096389
5040	8,391	2,256	41,229	2,867813333
5050	8,312	2,237	41,146	2,861574444
5060	8,259	2,218	41,063	2,855384167
5070	8,194	2,202	40,982	2,8492425
5080	8,119	2,188	40,9	2,843151111
5090	8,065	2,171	40,82	2,837100556
5100	8,008	2,155	40,74	2,831093889

3. Berikut ini merupakan data pengujian pada proses pengisian :

Pada proses pengisian pengambilan data pengujian dilakukan setiap detik, namun untuk data hasil pengujian yang dilampirkan setiap 10 detik. Berikut ini merupakan data pengujian pada proses pengisian :

Suhu ruangan 25 C			Jumlah muatan baterai mula-mula : 2,83 Ah	
Waktu (detik)	Tegangan (V)	Arus Discharge (A)	SOC (%)	Jumlah muatan di baterai (Q) (Ah)
1	12,368	3,077	41,152	2,830854722
10	12,373	3,077	41,254	2,838545556
20	12,372	3,078	41,368	2,847094444
30	12,368	3,082	41,482	2,855651667
40	12,367	3,078	41,596	2,864203333
50	12,371	3,076	41,71	2,872752222
60	12,373	3,077	41,824	2,8812975
70	12,374	3,081	41,938	2,889851667
80	12,374	3,078	42,052	2,898408611
90	12,374	3,08	42,166	2,906959444
100	12,372	3,079	42,28	2,915509722
110	12,38	3,078	42,394	2,924059444
120	12,384	3,074	42,508	2,932606667
130	12,386	3,077	42,622	2,941147778
140	12,39	3,075	42,736	2,94969
150	12,398	3,079	42,85	2,958244722
160	12,392	3,078	42,964	2,966795833
170	12,407	3,077	43,078	2,975340833
180	12,411	3,075	43,192	2,983886111
190	12,414	3,076	43,306	2,992426944
200	12,414	3,077	43,42	3,000967222

210	12,414	3,074	43,534	3,00951
220	12,414	3,077	43,648	3,0180575
230	12,414	3,078	43,762	3,026601111
240	12,415	3,076	43,876	3,035146944
250	12,415	3,075	43,99	3,043689722
260	12,415	3,079	44,103	3,052234722
270	12,416	3,08	44,218	3,060785833
280	12,417	3,079	44,332	3,069339444
290	12,419	3,077	44,445	3,077884444
300	12,421	3,081	44,56	3,086437778
310	12,426	3,082	44,674	3,0949925
320	12,433	3,081	44,788	3,103548333
330	12,437	3,077	44,902	3,112101111
340	12,443	3,077	45,016	3,120644722
350	12,451	3,077	45,13	3,129191667
360	12,456	3,075	45,244	3,137735278
370	12,461	3,075	45,357	3,146281389
380	12,463	3,073	45,471	3,154817222
390	12,463	3,07	45,585	3,163351111
400	12,463	3,071	45,699	3,171881667
410	12,463	3,076	45,813	3,180413056
420	12,463	3,075	45,926	3,188949722
430	12,463	3,075	46,04	3,197487222
440	12,463	3,077	46,154	3,206028056
450	12,464	3,076	46,268	3,214568611
460	12,464	3,073	46,382	3,22311
470	12,467	3,077	46,496	3,231652778
480	12,472	3,075	46,61	3,240196944
490	12,473	3,076	46,724	3,248743333

500	12,476	3,073	46,837	3,257283333
510	12,504	3,071	46,951	3,265815833
520	12,51	3,072	47,065	3,27435
530	12,51	3,077	47,179	3,2828925
540	12,512	3,075	47,293	3,291439167
550	12,512	3,079	47,407	3,299986667
560	12,512	3,076	47,521	3,308538611
570	12,512	3,077	47,635	3,317085
580	12,512	3,078	47,749	3,325634722
590	12,513	3,077	47,863	3,334181389
600	12,513	3,076	47,977	3,342727222
610	12,513	3,077	48,091	3,351272222
620	12,519	3,076	48,205	3,359813611
630	12,524	3,079	48,319	3,368361111
640	12,533	3,077	48,433	3,376911944
650	12,549	3,075	48,546	3,385456111
660	12,556	3,074	48,66	3,393998056
670	12,56	3,077	48,774	3,402538056
680	12,561	3,076	48,888	3,411081667
690	12,561	3,073	49,002	3,419625278
700	12,561	3,073	49,116	3,428161667
710	12,561	3,074	49,23	3,436700278
720	12,562	3,078	49,344	3,445244444
730	12,562	3,075	49,458	3,453786944
740	12,564	3,077	49,571	3,462333611
750	12,563	3,074	49,685	3,470878333
760	12,575	3,075	49,799	3,479420278
770	12,583	3,077	49,913	3,4879625
780	12,591	3,073	50,027	3,4965025

790	12,6	3,072	50,141	3,505039444
800	12,606	3,075	50,255	3,513577778
810	12,609	3,076	50,369	3,522125
820	12,61	3,074	50,483	3,530666389
830	12,61	3,074	50,596	3,539209167
840	12,61	3,075	50,71	3,547751111
850	12,61	3,073	50,824	3,556286944
860	12,61	3,073	50,938	3,564824444
870	12,61	3,074	51,052	3,573362222
880	12,61	3,077	51,166	3,581902778
890	12,613	3,075	51,28	3,590443889
900	12,617	3,075	51,393	3,598986389
910	12,617	3,075	51,507	3,607528333
920	12,625	3,074	51,621	3,616068611
930	12,626	3,077	51,735	3,624608333
940	12,641	3,072	51,849	3,633145
950	12,656	3,075	51,963	3,641684167
960	12,658	3,071	52,077	3,650221667
970	12,659	3,073	52,19	3,658757222
980	12,659	3,076	52,304	3,667298056
990	12,659	3,076	52,418	3,675838611
1000	12,659	3,076	52,532	3,684379722
1010	12,659	3,073	52,646	3,692919167
1020	12,659	3,071	52,76	3,701453889
1030	12,659	3,073	52,874	3,709988889
1040	12,66	3,075	52,987	3,718528056
1050	12,659	3,075	53,101	3,727068056
1060	12,663	3,077	53,215	3,735606111
1070	12,67	3,072	53,329	3,744143889

1080	12,671	3,074	53,443	3,752678611
1090	12,678	3,074	53,557	3,761216389
1100	12,692	3,071	53,67	3,769751111
1110	12,699	3,075	53,784	3,778286667
1120	12,707	3,073	53,898	3,786823889
1130	12,707	3,074	54,012	3,795362222
1140	12,708	3,073	54,126	3,803896667
1150	12,708	3,073	54,239	3,812435556
1160	12,708	3,073	54,353	3,820969167
1170	12,708	3,072	54,467	3,829499722
1180	12,708	3,073	54,581	3,838036389
1190	12,708	3,073	54,695	3,846571944
1200	12,708	3,073	54,808	3,855106389
1210	12,709	3,069	54,922	3,863636389
1220	12,71	3,072	55,036	3,872169444
1230	12,714	3,071	55,15	3,880703611
1240	12,721	3,071	55,263	3,889236667
1250	12,73	3,066	55,377	3,897766111
1260	12,742	3,071	55,491	3,9062925
1270	12,752	3,07	55,605	3,9148225
1280	12,755	3,069	55,718	3,923350278
1290	12,756	3,067	55,832	3,931871389
1300	12,756	3,071	55,946	3,940392222
1310	12,757	3,069	56,059	3,948922222
1320	12,757	3,069	56,173	3,957451389
1330	12,757	3,067	56,287	3,965973056
1340	12,757	3,073	56,4	3,974502222
1350	12,757	3,073	56,514	3,983037222
1360	12,758	3,071	56,628	3,991573333

1370	12,757	3,073	56,742	4,000109167
1380	12,758	3,069	56,856	4,008637222
1390	12,768	3,07	56,969	4,017164167
1400	12,776	3,072	57,083	4,025698611
1410	12,781	3,069	57,197	4,034228333
1420	12,78	3,072	57,311	4,042762222
1430	12,798	3,071	57,424	4,051293889
1440	12,801	3,072	57,538	4,059827778
1450	12,805	3,073	57,652	4,0683625
1460	12,805	3,072	57,766	4,076896389
1470	12,805	3,072	57,879	4,085431944
1480	12,805	3,069	57,993	4,093960556
1490	12,805	3,072	58,107	4,102491944
1500	12,805	3,071	58,221	4,111025278
1510	12,806	3,071	58,334	4,119554167
1520	12,806	3,069	58,448	4,128075833
1530	12,806	3,07	58,562	4,136606111
1540	12,807	3,07	58,675	4,145134722
1550	12,817	3,07	58,789	4,153664167
1560	12,825	3,071	58,903	4,162198889
1570	12,834	3,068	59,017	4,170721389
1580	12,838	3,07	59,13	4,179248889
1590	12,848	3,071	59,244	4,187778611
1600	12,854	3,068	59,358	4,196305
1610	12,854	3,07	59,471	4,204831944
1620	12,854	3,067	59,585	4,213355556
1630	12,854	3,069	59,699	4,2218825
1640	12,854	3,068	59,812	4,230409167
1650	12,854	3,07	59,926	4,238935278

1660	12,854	3,071	60,04	4,247458333
1670	12,855	3,069	60,153	4,255980833
1680	12,855	3,07	60,267	4,264506111
1690	12,858	3,071	60,381	4,273036944
1700	12,858	3,072	60,495	4,281564444
1710	12,858	3,071	60,608	4,290097222
1720	12,86	3,07	60,722	4,298628611
1730	12,876	3,069	60,836	4,307154167
1740	12,881	3,069	60,949	4,315679722
1750	12,887	3,07	61,063	4,324209167
1760	12,899	3,067	61,177	4,332736667
1770	12,902	3,07	61,291	4,341266111
1780	12,903	3,068	61,404	4,349794167
1790	12,903	3,069	61,518	4,358318333
1800	12,903	3,071	61,632	4,366848611
1810	12,903	3,07	61,745	4,375376111
1820	12,903	3,069	61,859	4,383900278
1830	12,904	3,069	61,973	4,392427222
1840	12,904	3,068	62,086	4,400952778
1850	12,905	3,07	62,2	4,409475
1860	12,907	3,067	62,314	4,418000833
1870	12,904	3,069	62,427	4,426521389
1880	12,913	3,067	62,541	4,435043611
1890	12,914	3,065	62,654	4,443561389
1900	12,915	3,069	62,768	4,452083056
1910	12,935	3,069	62,882	4,460606667
1920	12,934	3,068	62,995	4,469129722
1930	12,947	3,067	63,109	4,477644444
1940	12,948	3,069	63,222	4,486166667

1950	12,95	3,069	63,336	4,494695556
1960	12,952	3,071	63,45	4,503225
1970	12,952	3,069	63,564	4,511758333
1980	12,952	3,071	63,677	4,520287778
1990	12,952	3,071	63,791	4,52882
2000	12,952	3,071	63,905	4,537350556
2010	12,952	3,067	64,019	4,545871389
2020	12,953	3,066	64,132	4,554387222
2030	12,954	3,069	64,246	4,562911389
2040	12,956	3,071	64,359	4,571437222
2050	12,963	3,068	64,473	4,579961389
2060	12,965	3,067	64,587	4,588483889
2070	12,967	3,07	64,7	4,597005278
2080	12,986	3,07	64,814	4,605535833
2090	12,992	3,068	64,928	4,614058611
2100	12,998	3,07	65,041	4,622584722
2110	13,001	3,071	65,155	4,631112222
2120	13,001	3,068	65,269	4,639639444
2130	13,001	3,068	65,382	4,648163889
2140	13,001	3,068	65,496	4,656688611
2150	13,001	3,067	65,61	4,665209444
2160	13,001	3,063	65,723	4,673725556
2170	13,001	3,069	65,837	4,682243056
2180	13,002	3,069	65,95	4,690768889
2190	13,004	3,068	66,064	4,699291944
2200	13,007	3,069	66,178	4,707812778
2210	13,012	3,064	66,291	4,716332222
2220	13,02	3,066	66,405	4,724847778
2230	13,029	3,069	66,518	4,733370278

2240	13,037	3,068	66,632	4,741895556
2250	13,045	3,066	66,746	4,750418056
2260	13,048	3,068	66,859	4,758933056
2270	13,05	3,072	66,973	4,767458611
2280	13,05	3,073	67,087	4,775989444
2290	13,05	3,067	67,2	4,784512778
2300	13,05	3,069	67,314	4,793038056
2310	13,05	3,071	67,428	4,801563056
2320	13,05	3,068	67,541	4,81009
2330	13,05	3,067	67,655	4,818610833
2340	13,051	3,069	67,769	4,827136111
2350	13,053	3,07	67,882	4,835661667
2360	13,058	3,067	67,996	4,844184444
2370	13,068	3,066	68,11	4,852706667
2380	13,076	3,068	68,223	4,861230833
2390	13,079	3,069	68,337	4,869756389
2400	13,093	3,067	68,451	4,878278333
2410	13,095	3,064	68,564	4,886792778
2420	13,098	3,065	68,678	4,8953025
2430	13,098	3,066	68,791	4,9038125
2440	13,099	3,069	68,905	4,912330278
2450	13,099	3,065	69,018	4,920849167
2460	13,099	3,064	69,132	4,929363056
2470	13,099	3,059	69,245	4,937865278
2480	13,099	3,069	69,359	4,9463775
2490	13,099	3,068	69,472	4,954898889
2500	13,099	3,069	69,586	4,963421389
2510	13,1	3,07	69,699	4,971946667
2520	13,1	3,069	69,813	4,9804725

2530	13,1	3,068	69,927	4,988996111
2540	13,109	3,068	70,04	4,997520278
2550	13,109	3,068	70,154	5,006043333
2560	13,109	3,067	70,268	5,014563333
2570	13,13	3,068	70,381	5,023083056
2580	13,134	3,068	70,495	5,031607778
2590	13,142	3,064	70,609	5,040126389
2600	13,146	3,064	70,722	5,048638611
2610	13,147	3,066	70,836	5,057155556
2620	13,148	3,068	70,949	5,065676389
2630	13,148	3,066	71,063	5,074194167
2640	13,148	3,067	71,176	5,082709722
2650	13,148	3,069	71,29	5,091234167
2660	13,148	3,066	71,404	5,099756389
2670	13,15	3,067	71,517	5,108275833
2680	13,152	3,071	71,631	5,116798611
2690	13,158	3,065	71,744	5,125318889
2700	13,165	3,067	71,858	5,133830278
2710	13,173	3,064	71,971	5,142344722
2720	13,18	3,062	72,085	5,150854167
2730	13,186	3,064	72,198	5,159363611
2740	13,192	3,065	72,312	5,167870278
2750	13,195	3,063	72,425	5,176383889
2760	13,196	3,065	72,539	5,184892778
2770	13,196	3,064	72,652	5,193402778
2780	13,196	3,065	72,766	5,201919444
2790	13,196	3,067	72,879	5,210433056
2800	13,197	3,064	72,993	5,218948333
2810	13,198	3,063	73,106	5,227458611

2820	13,197	3,063	73,22	5,235964167
2830	13,203	3,063	73,333	5,244476111
2840	13,207	3,065	73,447	5,252988333
2850	13,213	3,062	73,56	5,2615
2860	13,21	3,063	73,674	5,270000556
2870	13,225	3,066	73,787	5,278515556
2880	13,234	3,067	73,901	5,287035556
2890	13,24	3,066	74,014	5,295549722
2900	13,242	3,065	74,128	5,304064444
2910	13,245	3,066	74,241	5,312584167
2920	13,245	3,065	74,355	5,321101389
2930	13,245	3,065	74,468	5,329611389
2940	13,245	3,067	74,582	5,338129444
2950	13,246	3,066	74,696	5,346646944
2960	13,246	3,065	74,809	5,355158611
2970	13,247	3,064	74,923	5,363673889
2980	13,251	3,064	75,036	5,372185833
2990	13,255	3,066	75,15	5,380702222
3000	13,262	3,063	75,263	5,389215278
3010	13,273	3,063	75,377	5,397726389
3020	13,281	3,066	75,49	5,406239167
3030	13,289	3,065	75,604	5,414756389
3040	13,293	3,068	75,717	5,423273333
3050	13,294	3,066	75,831	5,4317875
3060	13,294	3,066	75,944	5,440304722
3070	13,294	3,065	76,058	5,448823056
3080	13,294	3,065	76,171	5,457339444
3090	13,294	3,068	76,285	5,465858333
3100	13,294	3,068	76,399	5,474378056

3110	13,294	3,065	76,512	5,482897778
3120	13,296	3,068	76,626	5,491415556
3130	13,309	3,068	76,739	5,499935
3140	13,308	3,064	76,853	5,508449444
3150	13,32	3,066	76,966	5,516966944
3160	13,327	3,065	77,08	5,525480278
3170	13,339	3,064	77,193	5,533992778
3180	13,342	3,063	77,307	5,542501111
3190	13,343	3,062	77,42	5,551011667
3200	13,343	3,066	77,534	5,559526111
3210	13,343	3,065	77,647	5,568041389
3220	13,344	3,066	77,761	5,5765575
3230	13,345	3,065	77,874	5,585069167
3240	13,346	3,066	77,988	5,593584444
3250	13,343	3,064	78,101	5,602095
3260	13,352	3,064	78,215	5,610605278
3270	13,367	3,066	78,328	5,619121389
3280	13,377	3,069	78,442	5,627638889
3290	13,385	3,067	78,556	5,636156667
3300	13,39	3,065	78,669	5,644669167
3310	13,392	3,065	78,783	5,653186667
3320	13,392	3,065	78,896	5,661696667
3330	13,392	3,065	79,01	5,670208333
3340	13,392	3,065	79,123	5,678725833
3350	13,395	3,067	79,237	5,687241944
3360	13,4	3,066	79,35	5,695759722
3370	13,407	3,066	79,464	5,704276667
3380	13,413	3,067	79,577	5,712794444
3390	13,421	3,067	79,691	5,721308611

3400	13,43	3,065	79,805	5,729825
3410	13,435	3,066	79,918	5,738340556
3420	13,44	3,065	80,032	5,746857222
3430	13,441	3,063	80,145	5,755364722
3440	13,441	3,064	80,259	5,763878056
3450	13,441	3,063	80,372	5,772389444
3460	13,441	3,066	80,486	5,780905278
3470	13,443	3,063	80,599	5,789416111
3480	13,442	3,062	80,712	5,797918056
3490	13,447	3,063	80,826	5,806428889
3500	13,458	3,059	80,939	5,814931389
3510	13,467	3,059	81,053	5,823434444
3520	13,476	3,061	81,166	5,831937222
3530	13,483	3,062	81,279	5,840441944
3540	13,488	3,063	81,393	5,848945556
3550	13,489	3,061	81,506	5,857453333
3560	13,49	3,064	81,62	5,865958056
3570	13,49	3,065	81,733	5,874474167
3580	13,49	3,063	81,847	5,8829875
3590	13,492	3,065	81,96	5,891500833
3600	13,497	3,064	82,074	5,900015556
3610	13,5	3,066	82,187	5,908530556
3620	13,517	3,065	82,301	5,917046944
3630	13,521	3,061	82,414	5,925557222
3640	13,533	3,067	82,528	5,934071944
3650	13,537	3,066	82,641	5,942585556
3660	13,539	3,064	82,755	5,951099444
3670	13,539	3,067	82,868	5,959615278
3680	13,539	3,062	82,982	5,968124444

3690	13,539	3,062	83,095	5,9766275
3700	13,54	3,06	83,209	5,985133611
3710	13,544	3,061	83,322	5,993637222
3720	13,552	3,061	83,435	6,002137778
3730	13,563	3,063	83,549	6,010646944
3740	13,563	3,065	83,662	6,019156389
3750	13,582	3,062	83,776	6,027662222
3760	13,587	3,063	83,889	6,036170833
3770	13,587	3,063	84,002	6,044670556
3780	13,587	3,066	84,116	6,053181389
3790	13,588	3,063	84,229	6,061687778
3800	13,589	3,063	84,343	6,070196944
3810	13,592	3,066	84,456	6,078709444
3820	13,6	3,065	84,57	6,087223333
3830	13,609	3,065	84,683	6,095736111
3840	13,611	3,064	84,797	6,104253056
3850	13,622	3,066	84,91	6,112771111
3860	13,635	3,061	85,024	6,1212775
3870	13,636	3,064	85,137	6,129788056
3880	13,636	3,061	85,251	6,138293611
3890	13,636	3,06	85,364	6,146798611
3900	13,637	3,06	85,477	6,155296389
3910	13,641	3,064	85,591	6,163801944
3920	13,65	3,061	85,704	6,172306667
3930	13,668	3,06	85,818	6,180807778
3940	13,679	3,062	85,931	6,189309444
3950	13,685	3,067	86,044	6,197820556
3960	13,685	3,061	86,158	6,206326667
3970	13,685	3,063	86,271	6,214835

3980	13,685	3,066	86,385	6,223346111
3990	13,691	3,067	86,498	6,231858333
4000	13,698	3,064	86,612	6,240370833
4010	13,71	3,062	86,725	6,248871944
4020	13,724	3,065	86,839	6,257380556
4030	13,732	3,062	86,952	6,265893889
4040	13,734	3,06	87,065	6,274399444
4050	13,734	3,062	87,179	6,282905
4060	13,735	3,067	87,292	6,291413056
4070	13,741	3,064	87,406	6,299923611
4080	13,756	3,064	87,519	6,308433889
4090	13,773	3,061	87,633	6,316938889
4100	13,782	3,062	87,746	6,325441944
4110	13,783	3,061	87,859	6,333949722
4120	13,783	3,061	87,973	6,342452778
4130	13,787	3,061	88,086	6,350956667
4140	13,789	3,06	88,199	6,3594525
4150	13,808	3,062	88,313	6,367955833
4160	13,826	3,059	88,426	6,376456667
4170	13,832	3,062	88,54	6,384961667
4180	13,832	3,064	88,653	6,393472778
4190	13,834	3,062	88,766	6,401977222
4200	13,844	3,062	88,88	6,410486389
4210	13,862	3,061	88,993	6,418991389
4220	13,874	3,061	89,107	6,427491111
4230	13,881	3,065	89,22	6,436000278
4240	13,882	3,065	89,334	6,444511944
4250	13,892	3,063	89,447	6,453022778
4260	13,915	3,063	89,561	6,461535833

4270	13,929	3,063	89,674	6,470047222
4280	13,93	3,066	89,788	6,478558333
4290	13,93	3,066	89,901	6,487071667
4300	13,95	3,063	90,015	6,495581944
4310	13,976	3,065	90,128	6,504090556
4320	13,978	3,064	90,242	6,512603611
4330	13,979	3,066	90,355	6,521118333
4340	13,996	3,061	90,469	6,529631111
4350	14,026	3,065	90,582	6,538145556
4360	14,027	3,063	90,696	6,546654167
4370	14,03	3,064	90,809	6,555162222
4380	14,074	3,065	90,923	6,563678056
4390	14,076	3,064	91,036	6,572191389
4400	14,08	3,063	91,15	6,580703889
4410	14,117	3,058	91,263	6,589203889
4420	14,125	3,065	91,376	6,597705
4430	14,141	3,063	91,49	6,606215278
4440	14,174	3,063	91,603	6,614720556
4450	14,178	3,064	91,717	6,623236111
4460	14,213	3,063	91,83	6,631746389
4470	14,223	3,063	91,944	6,640256389
4480	14,251	3,066	92,057	6,648766667
4490	14,272	3,064	92,171	6,657276667
4500	14,313	3,06	92,284	6,665781667
4510	14,324	3,06	92,397	6,674283333
4520	14,37	3,058	92,511	6,682778889
4530	14,418	3,062	92,624	6,691280833
4540	14,469	3,064	92,737	6,699786667
4550	14,554	3,063	92,851	6,708296111

4560	14,646	3,062	92,964	6,716803889
4570	14,777	3,068	93,078	6,725320556
4580	15,02	3,058	93,191	6,733825556
4590	15,299	3,061	93,304	6,742320833
4600	15,543	3,066	93,418	6,750833056
4610	15,738	3,065	93,531	6,759345556
4620	16,015	3,066	93,645	6,767858611
4630	16,137	3,065	93,759	6,776373611
4640	16,227	3,062	93,872	6,784881944
4650	16,302	3,064	93,985	6,793393056
4660	16,362	3,06	94,099	6,801896389
4670	16,402	3,064	94,212	6,810399722
4680	16,429	3,066	94,326	6,818913611
4690	16,471	3,066	94,439	6,827426667
4700	16,511	3,065	94,553	6,835940278
4710	16,521	3,063	94,666	6,844451667
4720	16,552	3,062	94,78	6,852956389
4730	16,57	3,065	94,893	6,861468889
4740	16,591	3,061	95,007	6,869978056
4750	16,618	3,065	95,12	6,8784875
4760	16,618	3,06	95,233	6,886992778
4770	16,655	3,057	95,347	6,895489722
4780	16,667	3,064	95,46	6,903988889
4790	16,669	3,062	95,573	6,9124975
4800	16,694	3,061	95,687	6,921005278
4810	16,715	3,059	95,8	6,929503333
4820	16,716	3,062	95,914	6,938005
4830	16,725	3,066	96,027	6,9465125
4840	16,745	3,063	96,14	6,955025

4850	16,764	3,064	96,254	6,963531944
4860	16,764	3,063	96,367	6,9720375
4870	16,768	3,065	96,481	6,98055
4880	16,786	3,057	96,594	6,989051944
4890	16,811	3,064	96,708	6,9975575
4900	16,813	3,065	96,821	7,006070556
4910	16,814	3,063	96,935	7,014582778
4920	16,813	3,064	97,048	7,023093611
4930	16,817	3,066	97,162	7,031606944
4940	16,831	3,062	97,275	7,040121944
4950	16,856	3,059	97,388	7,048625556
4960	16,862	3,065	97,502	7,057133889
4970	16,862	3,064	97,615	7,065645556
4980	16,864	3,067	97,729	7,074158889
4990	16,871	3,066	97,842	7,082671389
5000	16,882	3,059	97,956	7,091183056
5010	16,898	3,065	98,069	7,099690833
5020	16,908	3,062	98,183	7,1082
5030	16,911	3,064	98,296	7,116710556
5040	16,911	3,064	98,41	7,125219167
5050	16,911	3,064	98,523	7,133730833

4. Program perhitungan nilai SOC pada mikrokontroler Arduino

```
#include <LiquidCrystal.h>
#define prescaler 19.5
#define offset 512.0      // bpenentuan nilai 0 ampere di ACS

const int analogIn = A1;//Pin ACS
int mVperAmp = 185;
float Vraw = 0.0;
float Iraw = 0.0;
float Vsamp = 0.0;
float Isamp = 0.0;
float Vaverage = 0.0;
float Iaverage = 0.0;
float Vin = 0.0;
float Iin = 0.0;

double Voltage = 0;
double Amps = 0;
int analogInput = A0;//Pin sensor tegangan
int value = 0;
float soc=40;
float soc_batt;

const int rs = 12, en = 11, d4 = 6, d5 = 5, d6 = 4, d7 = 3;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pinMode(analogInput, INPUT);
  pinMode(analogIn, INPUT);
  lcd.begin(16, 2);
}

void loop(){
  Vsamp = 0;
  Isamp = 0;

  for (int x = 0; x < 1000; x++)
  {
```

```

Vraw = analogRead(analogInput);
Iraw = analogRead(analogIn);

Vsamp = Vsamp + Vraw;
Isamp = Isamp + Iraw;
}
Vaverage = Vsamp / 1000;
Iaverage = Isamp / 1000;

Vin = Vaverage * 50 / 1023.0;
Iin = (( Iaverage * (5.0 / 1023.0))-offset * 5.0 / 1023.0) / (prescaler *
5.0 / 1023.0);

// //Perhitungan Nilai SOC
soc=soc+((Iin*100)/(7.5*3600));
soc_batt=soc+((Iin*100)/(7.5*3600));

Serial.print(Vin,3);
Serial.print("\t");
Serial.print(Iin,3);
Serial.print("\t");
Serial.println(soc_batt,3);

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("V=");lcd.print(Vin,3);
lcd.print(" I=");lcd.print(Iin,3);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("SOC=");lcd.print(soc_batt,3);lcd.print("%");

delay(1000);
//lcd.clear();
}

```


5. Data sheet multimeter SANWA

DIGITAL MULTIMETER


CD800a

APPLICATIONS AND FEATURES

This instrument is portable multimeter designed for the measurement of low-voltage circuit.
This is used at small communications equipments, home electric appliances, voltage of lump line, and measurement of various types of batteries.

- 4000 count
- Sharp contrast LCD with character 17.5mm high is used
- Solid & protective body cover that can also be used as a tilt stand
- Frequency, capacitance, and duty cycle measurement function

SPECIFICATIONS

	Measuring range	Test accuracy	Resolution	Resolution
DCV	400V/440V/500V/600V	$\pm 0.7\% \pm 3$	0.1mV	DCV: 10M \sim 100M Ω
ACV	4/40/400/600V	$\pm 1.6\% \pm 9$	0.001V	ACV: 10M \sim 11M Ω
DCA	40m/400mA	$\pm 2.2\% \pm 5$	0.01mA	
ACA	40m/400mA	$\pm 2.8\% \pm 5$	0.01mA	
Resistance	400 Ω /4k/40k/400k/4M/40M Ω	$\pm 1.5\% \pm 5$	0.1 Ω	
Capacitance	50n/500n/5 μ 0/100 μ F	$\pm 5.0\% \pm 10$	0.01nF	
Frequency	5Hz \sim 100kHz	$\pm 0.3\% \pm 3$		
Duty cycle	20% \sim 80%	$\pm 0.5\% \pm 3$		
Continuity	Buzzer sounds at between 10 Ω and 120 Ω Open voltage: approx. 0.4V			
Diode test	Open voltage: approx. 1.5V			
Measuring method	ΔZ method			
Display	4000 count			
Range selection	Auto and manual ranges			
Over display	"OL" is displayed(except AC/DC 600V ranges)			
Polarity	Automatic selection(only "-" is displayed)			
Battery low warning	Battery() mark lights when the internal battery's power is below approx. 2.4V			
Sampling rate	2 times/sec			
Operating temperature / humidity	5 \sim 40 $^{\circ}$ C / 5 \sim 31 $^{\circ}$ C, 80%RH(Max)			
Storage temperature / humidity	-10 $^{\circ}$ C \sim -30 $^{\circ}$ C, below 70%RH No condensation			
Environmental condition	Altitude 2000m or below, pollution degree II			
Power consumption	7mW at DCV			
Continuous use time	About 150 hours at DCV			
Bandwidth	40 \sim 400Hz			
Fuse / Battery	0.5A/250V 1.5kA ϕ 5 2x20mm / R6P x 2			
Size / Mass	H176 x W104 x D46mm / 340g			
Standard accessories included	Hand strap, instruction manual			



A battery for monitoring has been installed prior to shipment from the factory. It may be discharged before the expiration of the described battery life. This battery is used to check the functions and performance of the product. Specifications and external appearance of the product described above may be revised for modification without prior notice.

sanwa

SANWA ELECTRIC INSTRUMENT CO., LTD.

Dempa Bldg, 4-4 Sotokanda 2-Chome, Chiyoda-Ku, Tokyo 101-0021 Japan
Tel:+81-3-3251-0941 Fax:+81-3-3256-9740

www.sanwa-meter.co.jp

Distributed by

CLAMP METER

DCM-22AD

APPLICATIONS AND FEATURES

This instrument is an AC/DC clamp meter. It is suitable for measuring the current of low-voltage power lines and electrical appliances.

- Compact size
- Data hold
- Slim core for narrow space

SPECIFICATIONS

	Measuring range	Best accuracy	Resolution
ACA	20/200A	$\pm(2.0\%+5)$	
DCA	20/200A	$\pm(2.0\%+2)$	0.01A
ACV	2/20/200/500V	$\pm(2.0\%+5)$	0.01A
DCV	2/20/200/500V	$\pm(1.5\%+2)$	0.001V
Resistance	2k/20k/200k/2000k Ω	$\pm(2.0\%+5)$	0.001V
Continuity	Buzzer sounds at least less than approx. 400 Ω . Open voltage : app.600V		

Operation method	Dual-slope integration method
Display	2000 count
Range selection	Auto
Battery low warning	The character "B" appears
Sampling rate	2 times / sec
Operating temperature / humidity	0°C~50°C 80%RH or below No condensation
Storage temperature / humidity	-10°C~60°C 70%RH or below No condensation
Continuous use time	Approx. 48 hours(when measuring current)
Power consumption	10mA or less
Bandwidth	40~400Hz(ACA) 40~500Hz(ACV)
Clamp diameter	20mm
Battery	R03 x 2
Size / Mass	H178 x W56 x D28.5mm / 140g
Standard accessories included	Test lead(TL-61), Carrying case(C-CL), Instruction manual



A battery for monitoring has been installed prior to shipment from the factory. It may be discharged before the expiration of the described battery life. This battery is used to check the functions and performance of the product.Specifications and external appearance of the product described above may be revised for modification without prior notice.

sanwa
SANWA ELECTRIC INSTRUMENT CO., LTD.

Distributed by

BIODATA PENULIS



Zainul Rahmawan, dilahirkan di kota kecil yang indah bernama “Lumajang”, dilahirkan 23 tahun yang lalu, tepatnya pada tanggal 23 Maret 1995. Penulis dilahirkan dalam keluarga yang sederhana, yang merupakan anak ketiga dan terakhir dari pasangan Ahmad Zaini dan Badriyawati. Penulis mengawali jenjang pendidikan di TK Pembangunan 1 Jatiroto pada tahun 2000-2002, SD Pembangunan 1 Jatiroto pada tahun 2002-2008, SMP Negeri 1 Jatiroto pada tahun 2008-2011, SMA Negeri 2 Lumajang pada tahun 2011-2014 dan pada tahun 2014 penulis melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi Elektro, S-1 Departemen Teknik elektro. Selama kuliah penulis banyak aktif dalam berbagai kegiatan dan wadah perkembangan seperti menjadi Staf Departemen Riset dan Teknologi HIMATEKTRO ITS periode 2015-2016, Ketua Big Event “Electra 2017” Departemen Teknik Elektro ITS periode 2016-2017, wakil ketua Ikatan Mahasiswa Lumajang di Surabaya (IMAJAYA) periode 2016-2017, dan wakil ketua organisasi sosial Duacare periode 2017-2019. Selain itu penulis juga pernah aktif dalam berbagai kegiatan ilmiah. Seperti keikutsertaan dalam Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dan menjadi penerima dana hibah PKM-KC pada tahun 2014, serta menjadi finalis dalam Lomba Karya Tulis Al-Quran JMMI ITS. Selain itu pada tahun keempat penulis mencoba mencari pengalaman dalam dunia pekerjaan dengan melaksanakan kegiatan Kerja Praktek di PT. Pertamina (Persero) *Refinery IV* Cilacap pada tahun 2017. Sampai saat ini penulis masih terus mencoba untuk meningkatkan kemampuan diri untuk menjadi pribadi yang lebih baik lagi guna memberikan manfaat yang nyata dalam kehidupan masyarakat, bangsa, dan agama. “Sekali dan Berarti”. Penulis dapat dihubungi pada alamat berikut : Perumnas Jatiroto Permai, D.06, RT 04-RW 07, No.Hp: 089617330296, serta melalui email : zainulrahmawan53@gmail.com